DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Artículos

Variabilidad climática en distritos de temporal tecnificado del norte, sureste y sur de México

Climate variability in technified temporary districts in Northern, Southeastern, and Southern Mexico

Benigno Duran[1], ORCID: https://orcid.org/0009-0004-6083-6106

Ramón Arteaga[2], ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9459-3588

Alejandro Monterroso[3], ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4348-8918

Mario Vázquez[4], ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2084-7420

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México, al21130375@chapingo.mx

[2]Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México, rarteagar@chapingo.mx

[3]Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México, amonterrosor@chapingo.mx

[4]Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México, mvazquezp@chapingo.mx

Autor para correspondencia: Benigno Duran, al21130375@chapingo.mx

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resumen

Se analizó la variabilidad climática en distritos de temporal tecnificado (DTT) de Chiapas, Tamaulipas y Yucatán, México, evaluando tendencias de precipitación mensual acumulada y temperaturas medias mensuales de máximas y mínimas. La selección de estas regiones se debe a la diversidad climática del país, lo que permite contar con escenarios representativos. Se aplicaron la prueba de Mann-Kendall y el estimador de pendiente de Sen sobre datos de 44 estaciones climáticas: 17 del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), y 27 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INIFAP), considerando 36 años (1980-2015) para las estaciones del SMN y 41 años (1980-2020) para las del INIFAP. Los resultados muestran variaciones significativas en el clima de los DTT del norte, sureste y sur de México. Se identificó un aumento generalizado en las temperaturas máximas y mínimas, con tasas más altas de junio a septiembre, un patrón consistente con tendencias de cambio climático documentadas. Estas tendencias sugieren posibles alteraciones en los ciclos de crecimiento de los cultivos, asociadas con mayor demanda hídrica y estrés térmico, lo que podría afectar la productividad agrícola. El análisis de la precipitación acumulada mensual sugiere la posibilidad de una variabilidad interanual significativa. En meses clave para la siembra, como mayo, se detecta una tendencia a menores precipitaciones en varias estaciones, mientras que en octubre se registran incrementos. Estos cambios podrían influir en la disponibilidad de agua para los cultivos de temporal y con ello en su productividad.

Palabras clave: climatología, cambio climático, meteorología, análisis estadístico, recursos hídricos, agricultura, cultivos, México.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Abstract

Climatic variability was analyzed in technified rainfed districts (distritos de temporal tecnificado, DTT) located in Chiapas, Tamaulipas, and Yucatán, Mexico, by evaluating trends in monthly accumulated precipitation and monthly mean maximum and minimum temperatures. These regions were selected due to Mexico's climatic diversity, which allows the inclusion of representative climatic scenarios. The Mann–Kendall test and Sen's slope estimator were applied to data from 44 climate stations, including 17 stations from the National Meteorological Service (SMN) and 27 stations from National Institute of Statistics and Geography (INIFAP), considering 36 years (1980-2015) for SMN stations and 41 years (1980-2020) for INIFAP stations. The results show significant climatic variations across the DTTs located in northern, southeastern, and southern Mexico. A generalized increase in both maximum and minimum temperatures was identified, with higher rates observed from June to September, a pattern consistent with climate change trends reported in the literature. These trends suggest potential alterations in crop growth cycles, associated with increased water demand and thermal stress, which could affect agricultural productivity. The analysis of monthly accumulated precipitation indicates the presence of significant interannual variability. During key planting months, such as May, a tendency toward decreasing precipitation was detected at several stations, whereas increases were observed in October. These changes could influence water availability for rainfed crops and, consequently, their productivity.

Keywords: climatology, climate change, meteorology, statistical analysis, water resources, agriculture, crops, Mexico.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Recibido: 30/06/2025

Aceptado: 09/12/2025

Publicado *ahead of print*: 04/02/2026

Versión final: 01/09/2026

Introducción

Las acciones humanas, especialmente las que liberan gases de efecto invernadero, han sido la causa clara del calentamiento global, elevando la temperatura promedio de la superficie del planeta a 1.1 °C por encima de lo que era entre 1850 y 1900, al periodo de 2011-2020 (IPCC, 2023). Al estudiar el cambio climático, el objetivo principal es identificar, describir y comprender los cambios a largo plazo en diferentes variables climáticas tanto en términos de su tendencia central como de su variabilidad (Estrada *et al*., 2023).

El estudio de los patrones climáticos y su impacto es fundamental por diversas razones, que abarcan tanto la seguridad alimentaria como la sostenibilidad ambiental y la adaptación al cambio climático. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), garantizar la producción agrícola frente a las variaciones climáticas es vital para combatir el hambre y la malnutrición (FAO, 2024). De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), es esencial que las decisiones políticas se basen en evidencia científica para abordar los desafíos del cambio climático (IPCC, 2023).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cruz-Hernández (2021) documenta cómo la irregularidad en la distribución de lluvias incrementa el riesgo de estrés hídrico, mientras que Estrada *et al*. (2023) destacan la necesidad de estrategias de adaptación frente a escenarios de cambio climático que afectan la eficiencia de la producción agrícola. Asimismo, Mendoza-Ponce *et al*. (2023) subrayan que la combinación de temperaturas elevadas y variaciones pluviométricas puede alterar la fenología de los cultivos y disminuir los rendimientos, y enfatizan la importancia de un manejo integrado que considere la variabilidad climática a escala regional y temporal.

La investigación analiza la variabilidad climática durante la temporada primavera-verano (abril-noviembre). En atención a la diversidad climática de México, se seleccionaron tres regiones representativas, correspondientes a distritos de temporal tecnificado en Chiapas, Tamaulipas y Yucatán, con el objetivo de analizar la variabilidad climática mediante la precipitación mensual acumulada y las temperaturas medias mensuales máximas y mínimas en dichas zonas.

Materiales y métodos

Descripción de la zona de estudio

Los distritos de temporal tecnificado (DTT) de estudio para Chiapas son los siguientes (Figura 1 a)): DTT 06 Acapetahua, DTT 17 Tapachula, DTT 18 Huixtla, DTT 19 Jesús Diego y DTT 20 Margaritas Pijijiapan, los cuales se ubican en la región del Istmo-Costa y Soconusco. Estos DTT comprenden los municipios de Tonalá, Pijijiapan, Mapastepec, Acapetahua, Acacoyagua, Escuintla, Villa Comaltitlán, Huixtla, Huehuetán, Tuzantán, Mazatán, Tapachula, Tuxtla Chico, Metapa,

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Frontera Hidalgo y Suchiate. Desde el punto de vista climático, se presentan los grupos cálidos y semicálidos, predominando el cálido subhúmedo con lluvias de junio a agosto, seguido por el clima cálido húmedo con lluvias abundantes de junio a agosto y cuya precipitación anual fluctúa entre 1 200 y 3 000 mm (SHC, 2012).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua

OPEN ACCESS

Check for updates

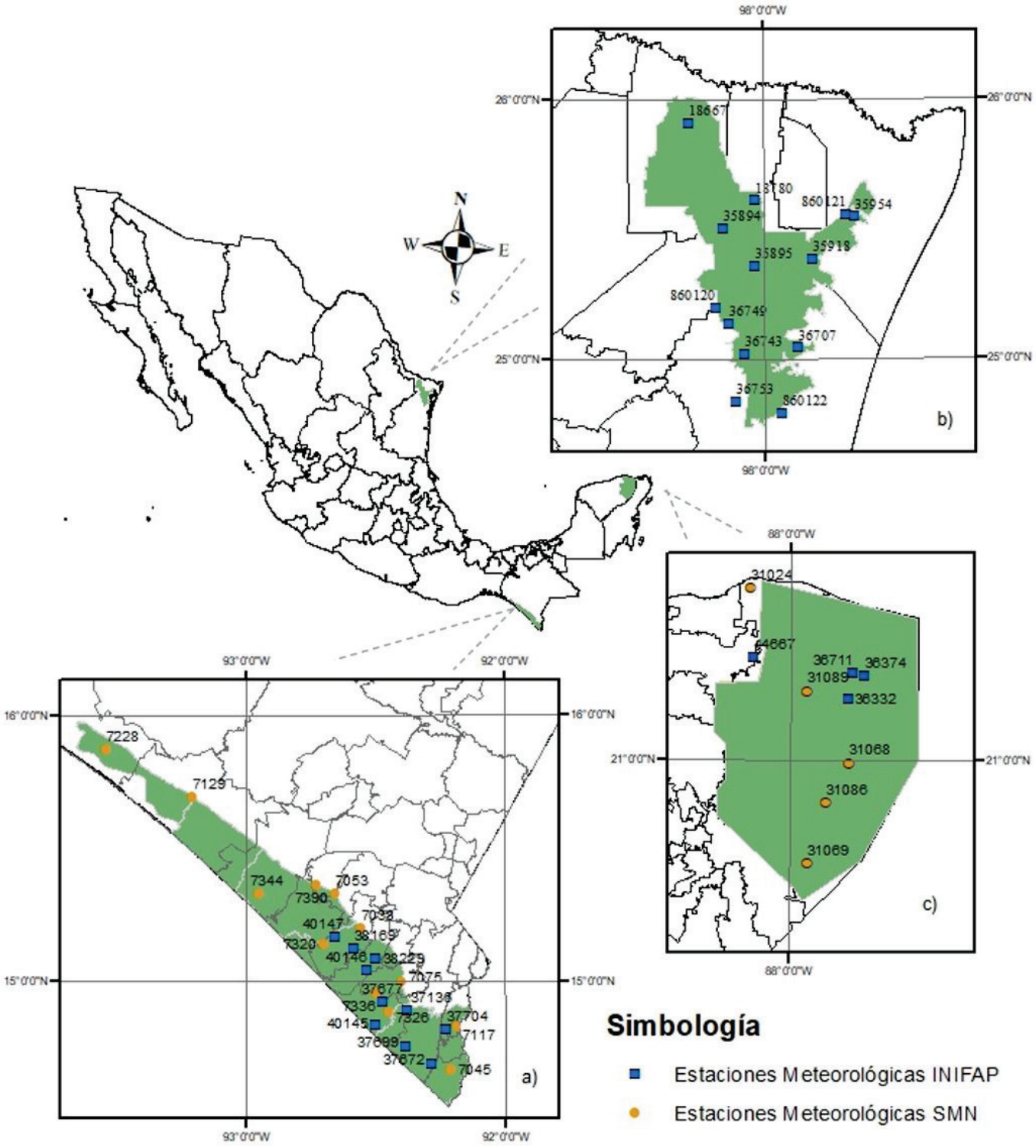

Figura 1. Ubicación geográfica de los distritos de temporal tecnificado de estudio: a) Chiapas, b) Tamaulipas y c) Yucatán.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El Distrito de Temporal Tecnificado 010 San Fernando se localiza en el estado de Tamaulipas, México (Figura 1b)). Comprende parte del municipio de San Fernando y otras áreas circundantes, situándose en una región del noreste del país que se caracteriza por una importante actividad agrícola, enfocada en particular en cultivos de temporal. Climáticamente, esta zona presenta un clima semiárido a subhúmedo, con lluvias concentradas de junio a agosto. Esta variabilidad climática puede generar desafíos para la producción agrícola debido a la presencia de sequías y fluctuaciones de temperatura que afectan los ciclos de cultivo (INEGI, 2020).

El Distrito de Temporal Tecnificado 008 Oriente de Yucatán se encuentra en el estado de Yucatán, México, abarcando parte de la región oriental del estado (Figura 1 c)). Se caracteriza por su dedicación a cultivos de temporal que han sido esenciales para la economía y la subsistencia local. El clima de esta región es principalmente subhúmedo, con lluvias de junio a agosto, presentando una marcada estacionalidad en las precipitaciones. La precipitación anual puede ser considerable, aunque su distribución no siempre es uniforme, lo que genera periodos de sequía ocasionales. Las temperaturas suelen ser de cálidas a calurosas durante todo el año, con ligeras variaciones estacionales. Dicha variabilidad climática representa un reto para la producción agrícola de temporal por la dependencia de la precipitación y las posibles fluctuaciones en temperatura que afectan el crecimiento de los cultivos (INEGI, 2020).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Recopilación de datos climáticos

Se emplearon datos de 44 estaciones meteorológicas distribuidas en las áreas de estudio, de las cuales 17 pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) (Conagua, 2024) y 27 del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (INIFAP, 2024). El periodo de estudio comprende 36 años para las estaciones del SMN y 41 años para las estaciones del INIFAP; se recopilaron datos climáticos diarios de precipitación en mm, temperaturas máximas y mínimas en °C (Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tabla 1. Estaciones meteorológicas en los cinco DTT de Chiapas.

Número	Clave	Estación meteorológica	Fuente	Longitud	Latitud	Altitud
1	37136	Buena Vista	INIFAP	-92.3797	14.8940	44
2	37672	Yunnuen (Rancho Alegre)	INIFAP	-92.2875	14.6910	13
3	37677	Carolina	INIFAP	-92.4743	14.9245	19
4	37699	La Norteña	INIFAP	-92.3863	14.7599	16
5	37704	Umoa 2 sección	INIFAP	-92.2313	14.8235	84
6	38169	Rancho San José	INIFAP	-92.5844	15.1291	24
7	38229	Ingenio Huixtla	INIFAP	-92.5039	15.0883	35
8	40145	Argelia	INIFAP	-92.5037	14.8397	8
9	40146	5 de Marzo	INIFAP	-92.5333	15.0447	13
10	40147	Teziutlán	INIFAP	-92.6608	15.1695	13
11	7038	Despoblado	SMN	-92.5581	15.2025	63
12	7045	El Dorado	SMN	-92.2128	14.6728	35
13	7053	Escuintla	SMN	-92.6558	15.3308	92
14	7075	Huehuetán	SMN	-92.4003	15.0022	65
15	7117	Metapa de Domínguez	SMN	-92.1917	14.8311	98
16	7129	Pijijiapan	SMN	-93.2114	15.6978	57
17	7228	Tres Picos	SMN	-93.5458	15.8750	20
18	7320	Salvación	SMN	-92.7014	15.1439	8
19	7326	Mazatán	SMN	-92.4539	14.8864	15
20	7336	Plan de Iguala	SMN	-92.5042	14.9589	18
21	7344	Ejido Ibarra	SMN	-92.9522	15.3339	9
22	7390	Cacaluta	SMN	-92.7311	15.3650	80

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tabla 2. Estaciones meteorológicas ubicadas en el DTT 010 San Fernando en Tamaulipas.

Número	Clave	Estación meteorológica	Fuente	Longitud	Latitud	Altitud
1	18667	Galeana	INIFAP	-98.3211	25.9131	75
2	18780	El Avión	INIFAP	-98.0408	25.6144	53
3	35894	Martín Rocha	INIFAP	-98.1767	25.5056	65
4	35895	San Lorenzo	INIFAP	-98.0411	25.3592	23
5	35918	Los Ébanos	INIFAP	-97.7964	25.3853	6
6	35954	5 de Mayo	INIFAP	-97.6172	25.5500	4
7	36707	Ejido Pastores	INIFAP	-97.8571	25.0454	2
8	36743	Francisco Villa	INIFAP	-98.0866	25.0204	23
9	36749	Ejido 20 de Noviembre	INIFAP	-98.1528	25.1386	47
10	36753	San Fernando	INIFAP	-98.1218	24.8376	59
11	860120	La Peñita	INIFAP	-98.2074	25.1999	84
12	860121	Las Margaritas	INIFAP	-97.6540	25.5578	7
13	860122	Rancho Rospman	INIFAP	-97.9309	24.7934	16

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tabla 3. Estaciones meteorológicas ubicadas en los cinco DTT en Yucatán.

Número	Clave	Estación meteorológica	Fuente	Longitud	Latitud	Altitud
1	36332	Los Laureles	INIFAP	-87.7886	21.2117	15
2	36374	Sitio Experimental Tizimín	INIFAP	-87.7267	21.2903	18
3	36711	Rancho Alegre	INIFAP	-87.7698	21.3030	12
4	44667	Santa Martha	INIFAP	-88.1344	21.3554	19
5	31024	Río Lagartos	SMN	-88.1475	21.5897	4
6	31068	Chan Cenote	SMN	-87.7839	20.9908	30
7	31069	Chemax	SMN	-87.9350	20.6486	26
8	31086	Kuxeb	SMN	-87.8703	20.8550	21
9	31089	Dzonot Ake	SMN	-87.9369	21.2367	16

Para elegir las estaciones meteorológicas se consideraron las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), donde menciona que las estaciones seleccionadas deben tener un mínimo del 80 % de datos disponibles en el periodo analizado y que no presente una falta de información por más de tres años seguidos (OMM, 2013). De igual manera, se consideró el criterio del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), que recomienda el uso de registros climáticos que cubran al menos tres décadas para capturar adecuadamente las variaciones naturales y los cambios inducidos por el ser humano (IPCC, 2021).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

Homogenización y control de calidad de datos climáticos

La homogenización y el análisis de calidad de los datos climáticos es un proceso esencial para asegurar la fiabilidad y validez de los estudios sobre clima, meteorología y cambio climático. La precisión y consistencia de los datos recopilados por estaciones meteorológicas se ven afectadas por fallos en los instrumentos de medición, cambios en las ubicaciones de las estaciones o fallos humanos en la recolección de datos. Estos problemas pueden introducir errores sistemáticos o aleatorios que distorsionan las conclusiones sobre las tendencias y variaciones climáticas, por lo que el análisis de homogeneidad y calidad es indispensable antes de realizar estudios basados en estos datos (OMM, 2013).

Por tal razón, se empleó el paquete *CLIMATOL* en *R*, el cual es una herramienta diseñada para el análisis y la homogeneización de datos climatológicos; permite realizar una variedad de tareas relacionadas con la manipulación, el análisis, relleno de datos faltantes y visualización de datos climáticos, siendo especialmente útil para investigadores y meteorólogos que trabajan con series temporales de datos (Guijarro, 2024).

Para el análisis de los datos climáticos en *CLIMATOL*, se emplearon registros diarios de los parámetros climáticos de interés, correspondientes al periodo abril-noviembre, que abarca el ciclo agrícola de temporal primavera-verano.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

Prueba de Mann-Kendall

La prueba de tendencia de Mann-Kendall (MK) es un método estadístico no paramétrico utilizado para detectar tendencias en series temporales de datos; esta prueba es especialmente útil en el análisis de datos ambientales y climáticos, ya que permite identificar si hay una tendencia monotónica ascendente o descendente en los datos sin asumir una distribución normal; la hipótesis nula de la prueba establece que no existe una tendencia, mientras que la hipótesis alternativa sugiere la presencia de una tendencia monotónica; una de las ventajas del prueba de Mann-Kendall es su robustez frente a valores atípicos y cambios abruptos en los datos, lo que la convierte en una herramienta valiosa para el análisis de series temporales en campos como la hidrología y meteorología (Hirsch *et al*., 1982).

Los valores de los datos se evalúan como una serie temporal ordenada, y todos los valores de datos posteriores se comparan con cada uno de los valores de datos iniciales.

La serie temporal $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$ representa n puntos de datos.

La estadística de la prueba de Mann-Kendall (S) se calcula de la siguiente manera:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sign(x_j - x_i) \qquad (1)$$

Donde:

$sign$ = función signo, que devuelve 1, -1 o 0 dependiendo de si el argumento es positivo, negativo o cero, respectivamente.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Un valor positivo de S indica una tendencia ascendente en la serie temporal, mientras que un valor negativo sugiere una tendencia descendente. Un valor cercano a cero indica que no hay una tendencia clara.

La media de S es $E[S] = 0$, y la varianza (σ^2) de S se da por la siguiente fórmula:

$$\sigma^2 = \frac{1}{18}\left\{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^{p} t_j(t_j-1)(2t_j+5)\right\} \quad (2)$$

Donde:

n = número de puntos de datos en la serie temporal.

p = número de grupos de datos empatados en el conjunto de datos.

t_j = número de puntos de datos en el $j-ésimo$ grupo empatado.

La estadística S se distribuye aproximadamente de manera normal, siempre que se emplee la siguiente transformación Z:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\sigma^2}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\sigma^2}} & S > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Una vez que se tiene el valor de Z, se utiliza la distribución normal estándar para obtener el $p-value$ correspondiente para una prueba de dos colas (donde se analizan tanto tendencias ascendentes como descendentes), el $p-value$ se calcula así:

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

$$p - value = 2 * P(Z > |Z|) \quad (4)$$

Donde:

$P(Z > |Z|)$ = probabilidad de que la estadística Z tome un valor mayor en una distribución normal estándar.

Si el $p - value$ es menor que el nivel de significancia, se puede concluir que existe una tendencia significativa en los datos.

Para la prueba de Mann Kendall se eligió el valor del nivel de significancia de 0.05 $(\alpha = 0.05)$ debido a que investigaciones como la de Sheng y Paul (2004) determinan que el uso de este valor ayuda a garantizar que las conclusiones sobre la existencia de tendencias climáticas sean estadísticamente robustas y no se deban a fluctuaciones aleatorias. Además, facilita la comparación y replicación de estudios a nivel internacional.

Mientras que el valor de Z indica la dirección de la tendencia, la interpretación es la siguiente:

- $Z > 0$ indica que la variable tiene una tendencia creciente
- $Z < 0$ indica una tendencia decreciente
- $Z \approx 0$ indica que no hay tendencia significativa en los datos

Estimador de pendiente de Sen

El estimador de pendiente de Sen es un método no paramétrico utilizado para identificar una tendencia en una serie temporal, además de mostrar la magnitud de dicha tendencia. El estimador de la pendiente de Sen

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

requiere al menos 10 valores en una serie temporal. Esta prueba calcula tanto la pendiente (es decir, la tasa de cambio lineal) como los interceptos de acuerdo con el método de Sen (Sen, 1968). A partir de lo señalado por Helsel y Hirsch (2002), el modelo lineal puede calcularse de la siguiente manera:

$$Y = Q * X + B \quad (5)$$

Donde:

Y = valor estimado de la variable dependiente.

Q = pendiente de Sen (la tasa de cambio).

X = variable independiente (p. ej., el tiempo).

B = intercepto.

Este modelo lineal describe cómo cambia una variable en función del tiempo o de otro parámetro de interés, lo que proporciona una manera simple y robusta de analizar tendencias lineales en datos no paramétricos.

Resultados

A continuación, se presentan las figuras correspondientes a la prueba de Mann-Kendall y a la pendiente de Sen para la precipitación acumulada mensual, así como para las temperaturas máximas y mínimas medias mensuales en las tres zonas de estudio (Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 8, Figura 8, Figura 9). La simbología utilizada para identificar la significancia de las tendencias es la siguiente: las tendencias significativas se representan mediante un triángulo de color

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

rojo con un punto negro en el centro, mientras que las tendencias no significativas se indican solo con un punto negro.

Pruebas de tendencia de Mann-Kendall y pendientes de Sen aplicadas a la precipitación acumulada mensual

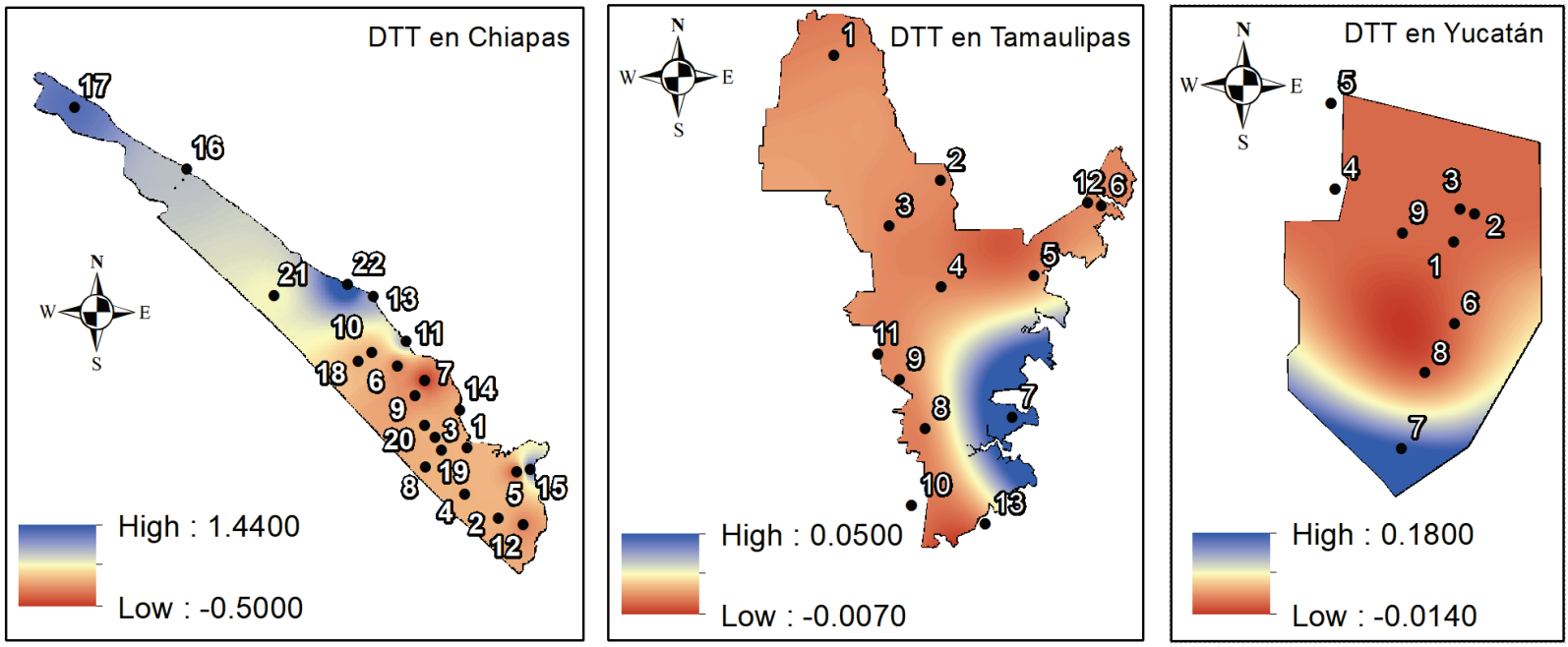

Figura 2. Tendencias en la precipitación acumulada mensual de abril.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

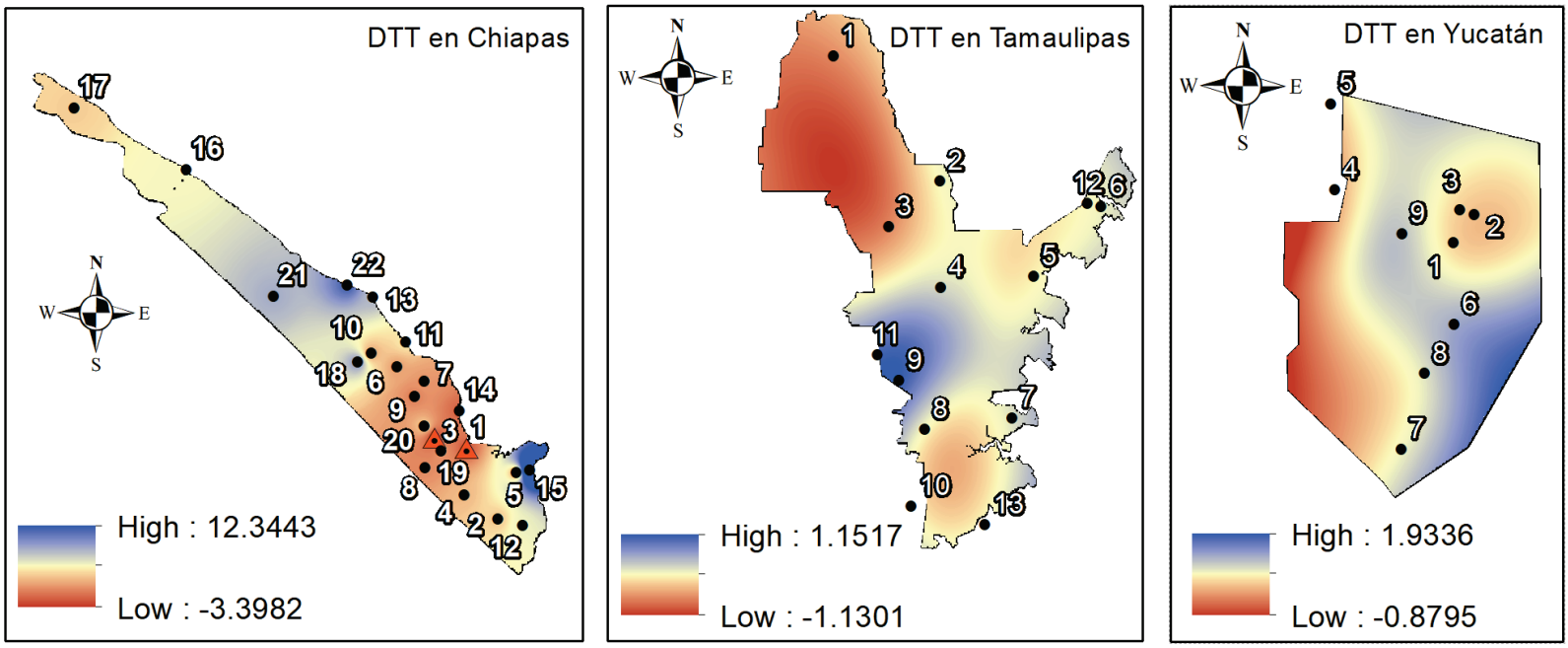

Figura 3. Tendencias en la precipitación acumulada mensual de mayo.

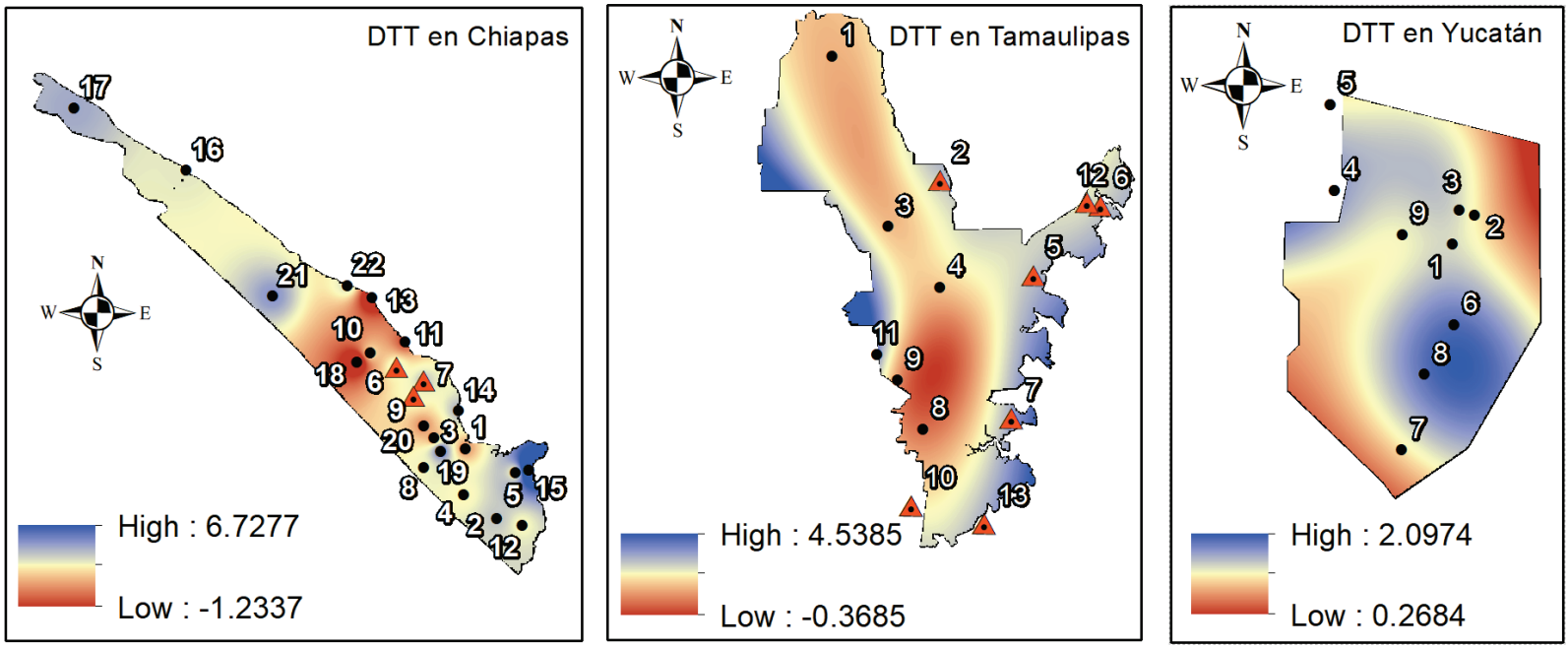

Figura 4. Tendencias en la precipitación acumulada mensual de junio.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

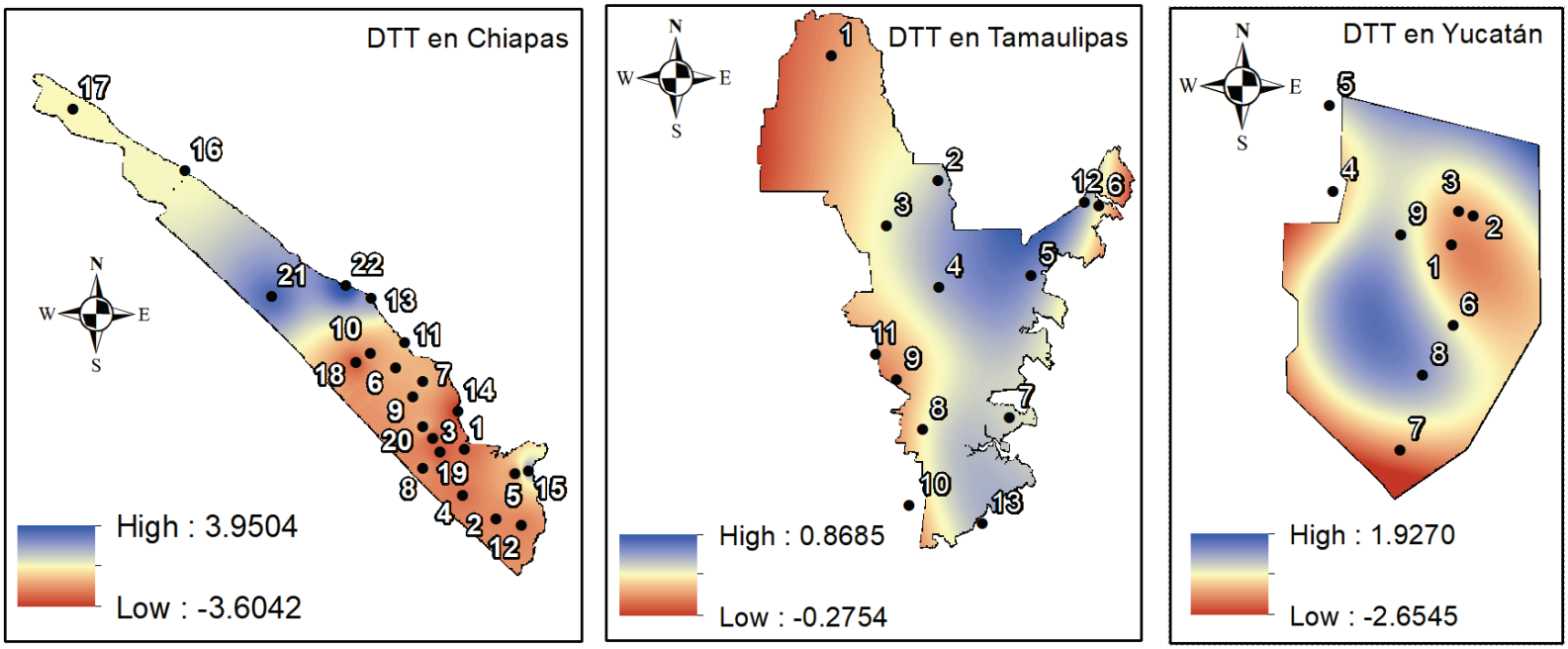

Figura 5. Tendencias en la precipitación acumulada mensual de julio.

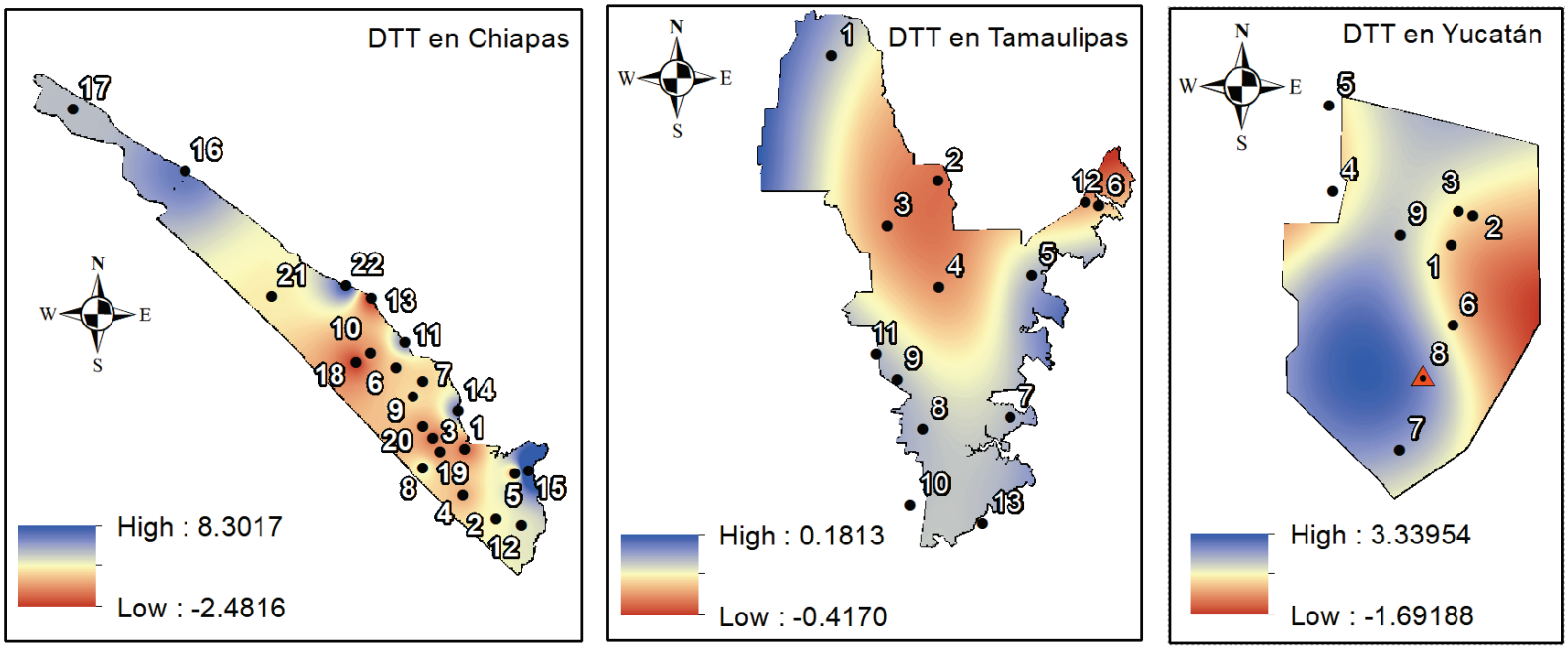

Figura 6. Tendencias en la precipitación acumulada mensual de agosto.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

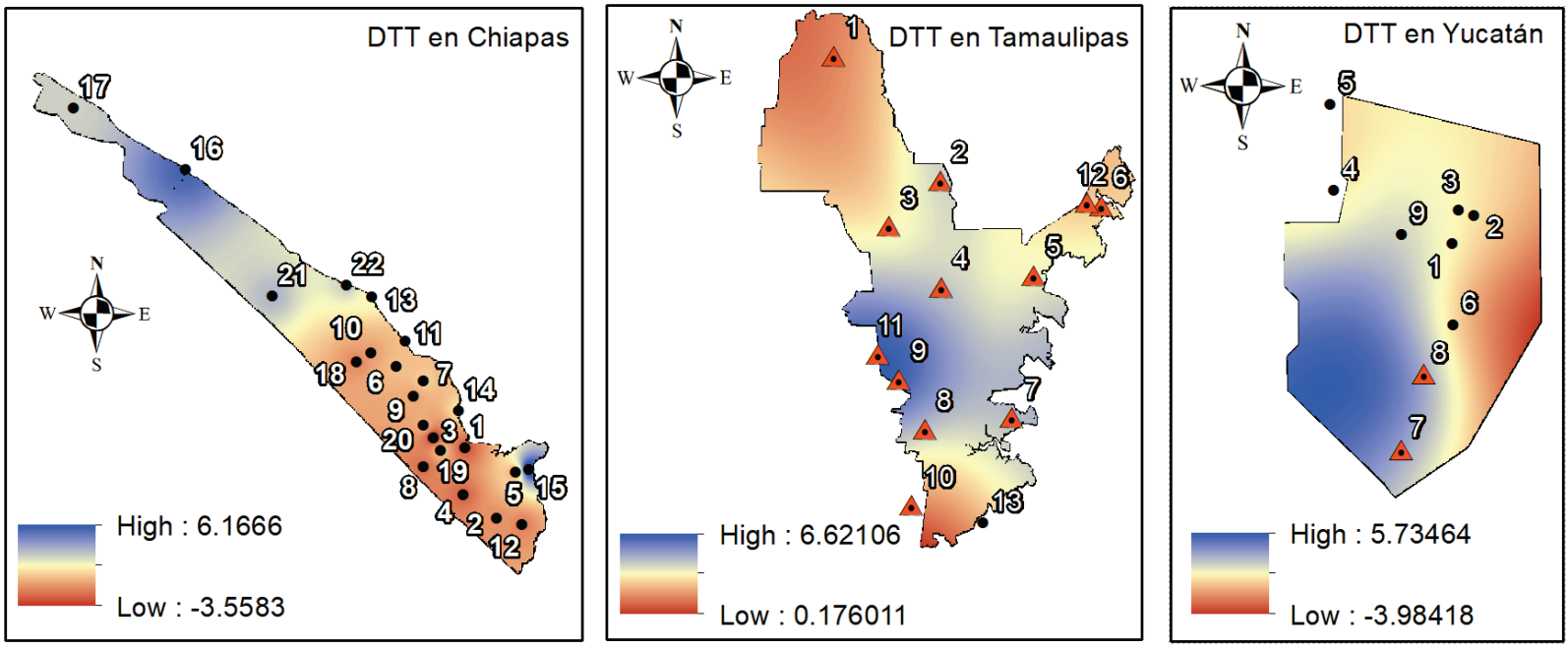

Figura 7. Tendencias en precipitación acumulada mensual de septiembre.

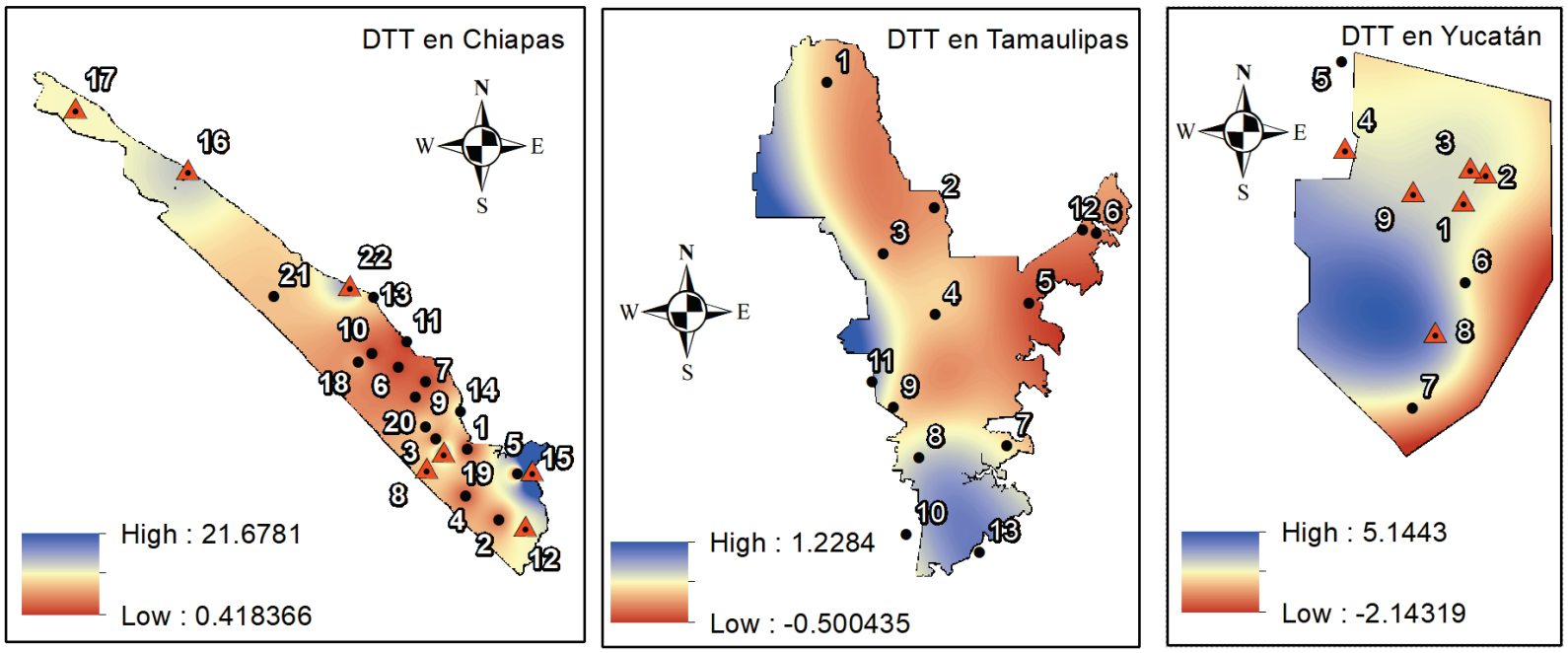

Figura 8. Tendencias en la precipitación acumulada mensual de octubre.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

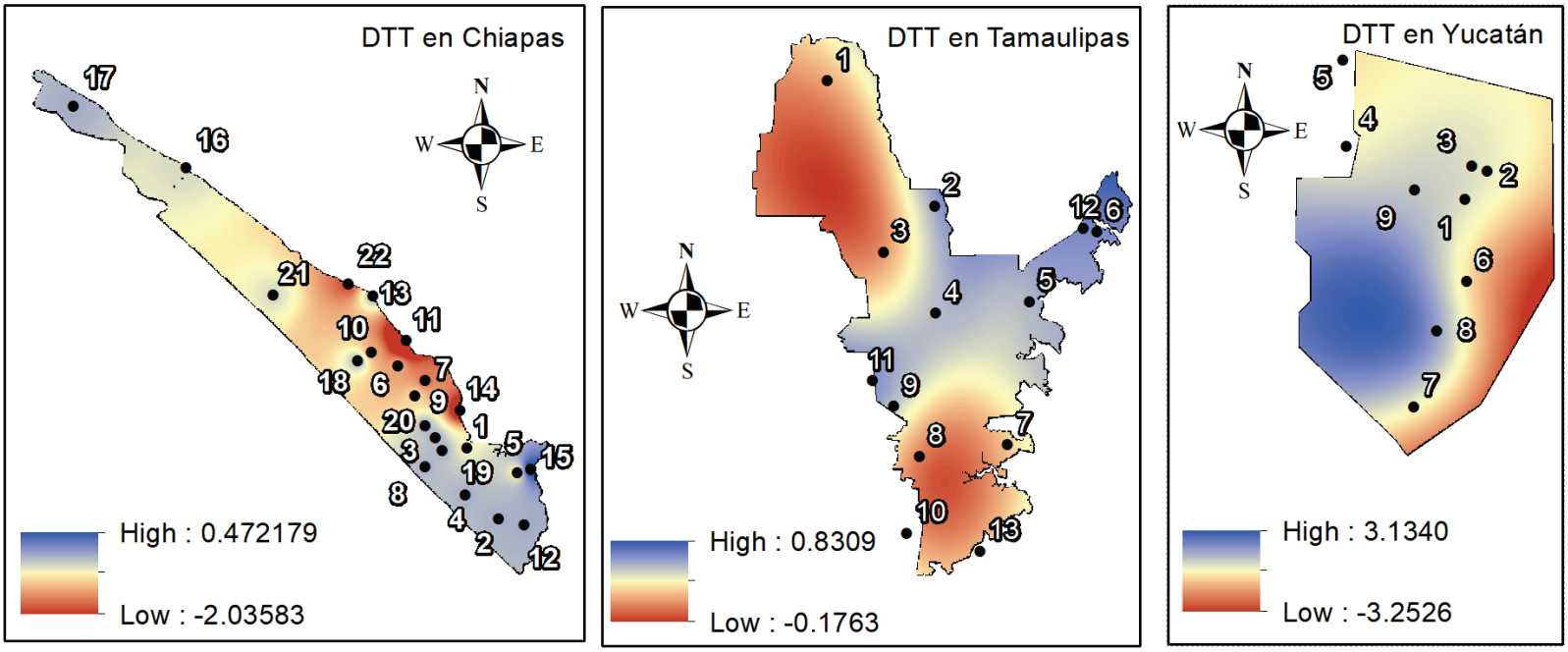

Figura 9. Tendencias en la precipitación acumulada mensual de noviembre.

La pendiente de Sen se representa mediante un rango de colores escalonado, tomando el valor cero como punto medio de referencia.

Es importante señalar que la numeración utilizada de las figuras 2 a 25 corresponde directamente a las tablas de información de las estaciones meteorológicas (Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3).

En los DTT de Chiapas se observaron tendencias significativas en meses como mayo, junio y octubre. En mayo, estaciones como Buena Vista (1) y Carolina (3) mostraron disminuciones en la precipitación (pendientes de -2.90 y -3.40). Junio presentó tendencias positivas en estaciones como Rancho San José (6) e Ingenio Huixtla (7) (pendientes hasta 2.50). Octubre destacó con aumentos importantes, como en Metapa

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

de Domínguez (15) (pendiente de 21.80). Sin embargo, la mayoría de las estaciones no mostró tendencias significativas, lo cual indica estabilidad.

En el DTT 010 San Fernando, Tamaulipas, predominó la ausencia de tendencias como en abril, donde Galeana (1) y El Avión (2) registraron pendientes de cero. No obstante, junio y septiembre mostraron incrementos en estaciones como El Avión (2) y Galeana (1), con pendientes de hasta 4.1, lo que podría reflejar efectos climáticos regionales.

En el DTT 08 Oriente de Yucatán, abril no presentó tendencias; en mayo y junio hubo ligeros aumentos no significativos, mientras que julio mostró disminuciones leves. Agosto registró un aumento significativo en Kuxeb (8) (pendiente de 2.4), y septiembre y octubre en estaciones como Chemax (7) y Rancho Alegre (3) (hasta 4.0 en octubre). Noviembre no presentó cambios relevantes.

Pruebas de tendencia de Mann-Kendall y pendientes de Sen aplicadas a la temperatura máxima media mensual

Revisar la Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 15, Figura 15, Figura 16, Figura 17.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

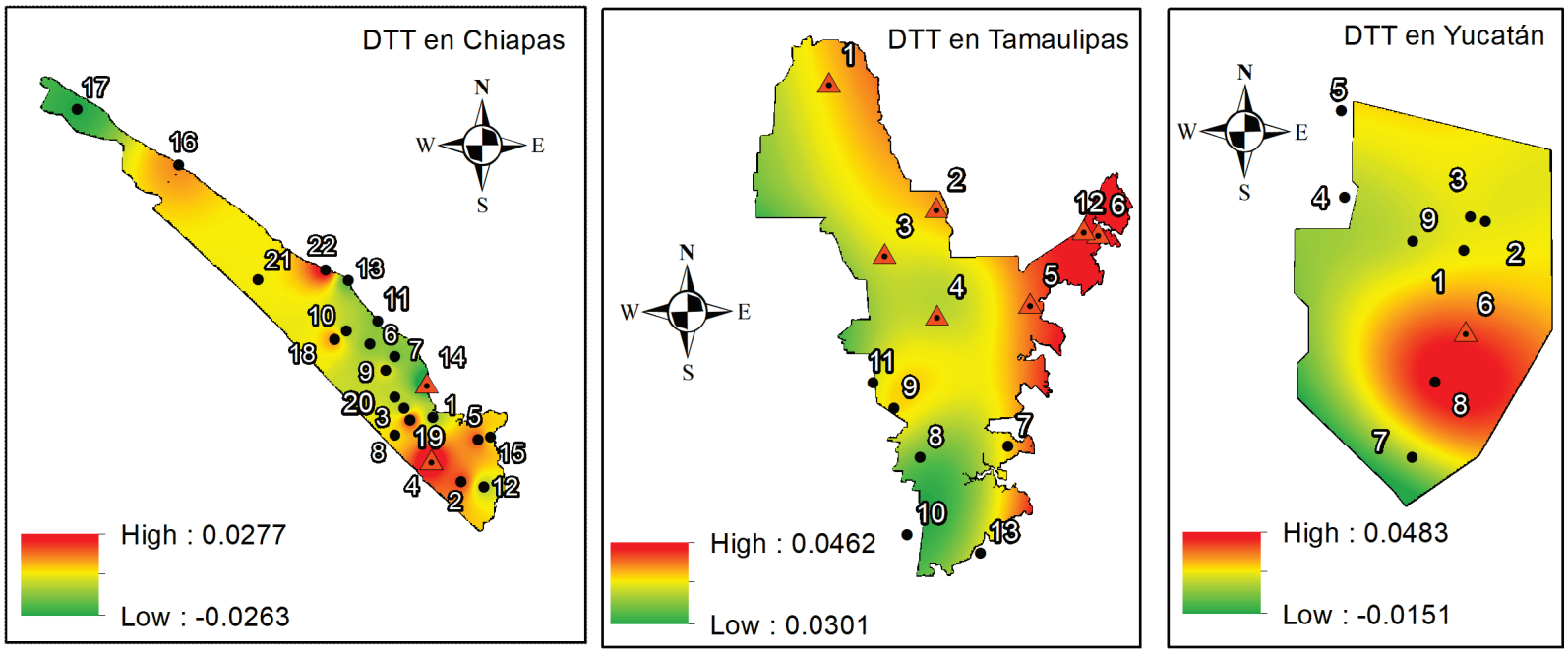

Figura 10. Tendencias en temperatura máxima media mensual de abril.

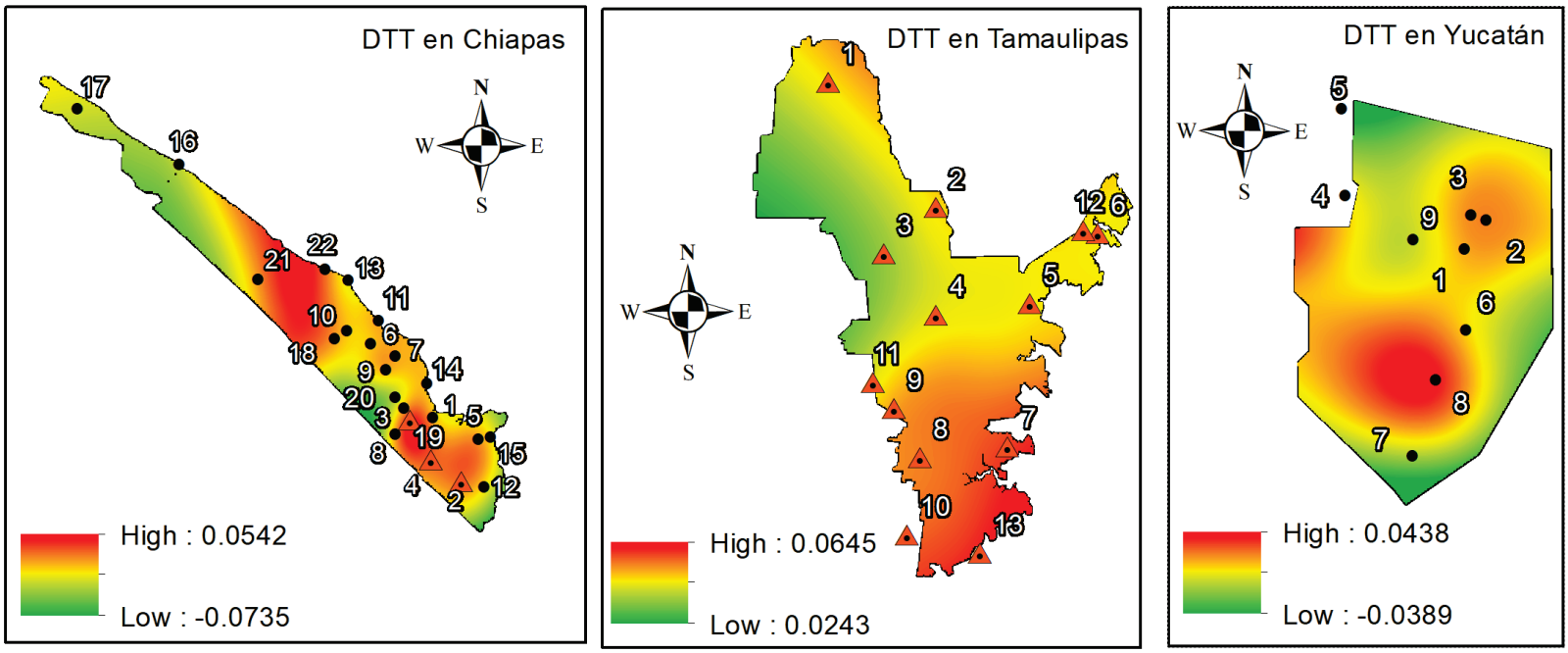

Figura 11. Tendencias en temperatura máxima media mensual de mayo.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

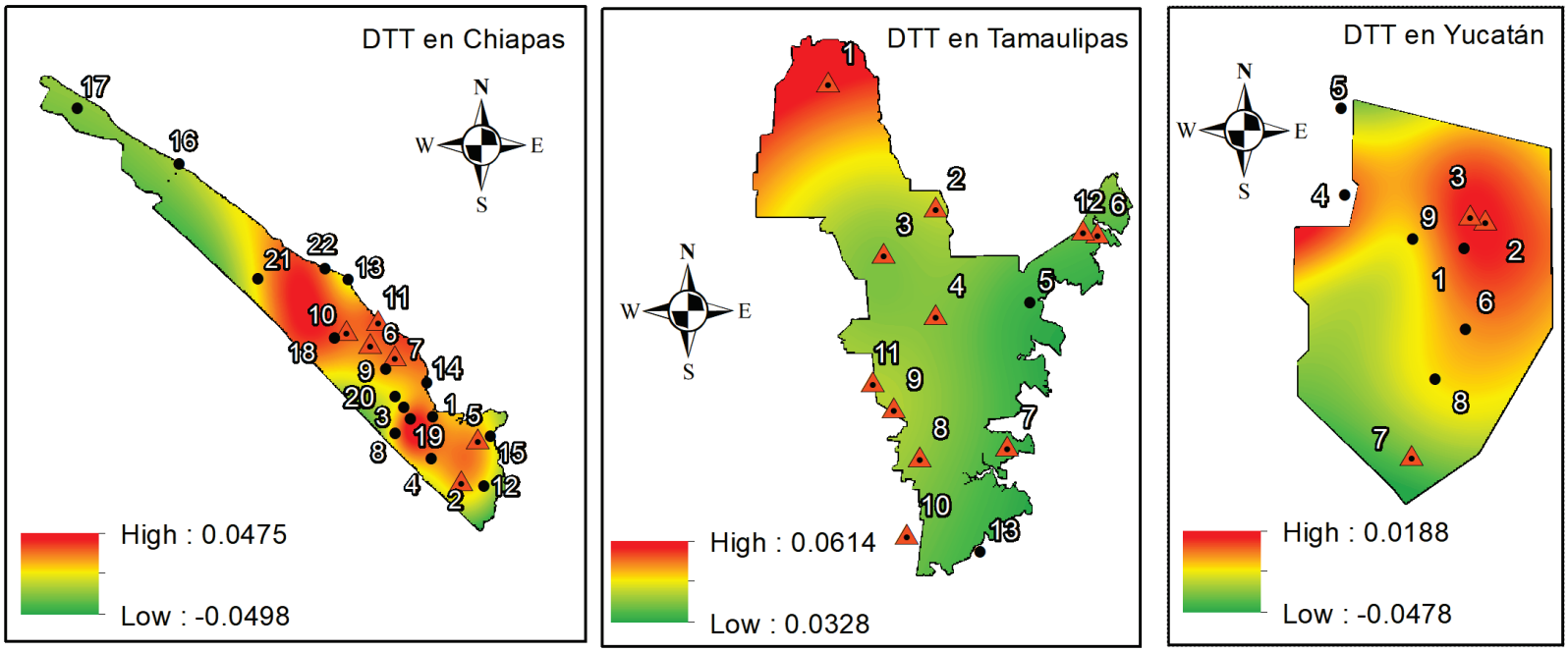

Figura 12. Tendencias en temperatura máxima media mensual de junio.

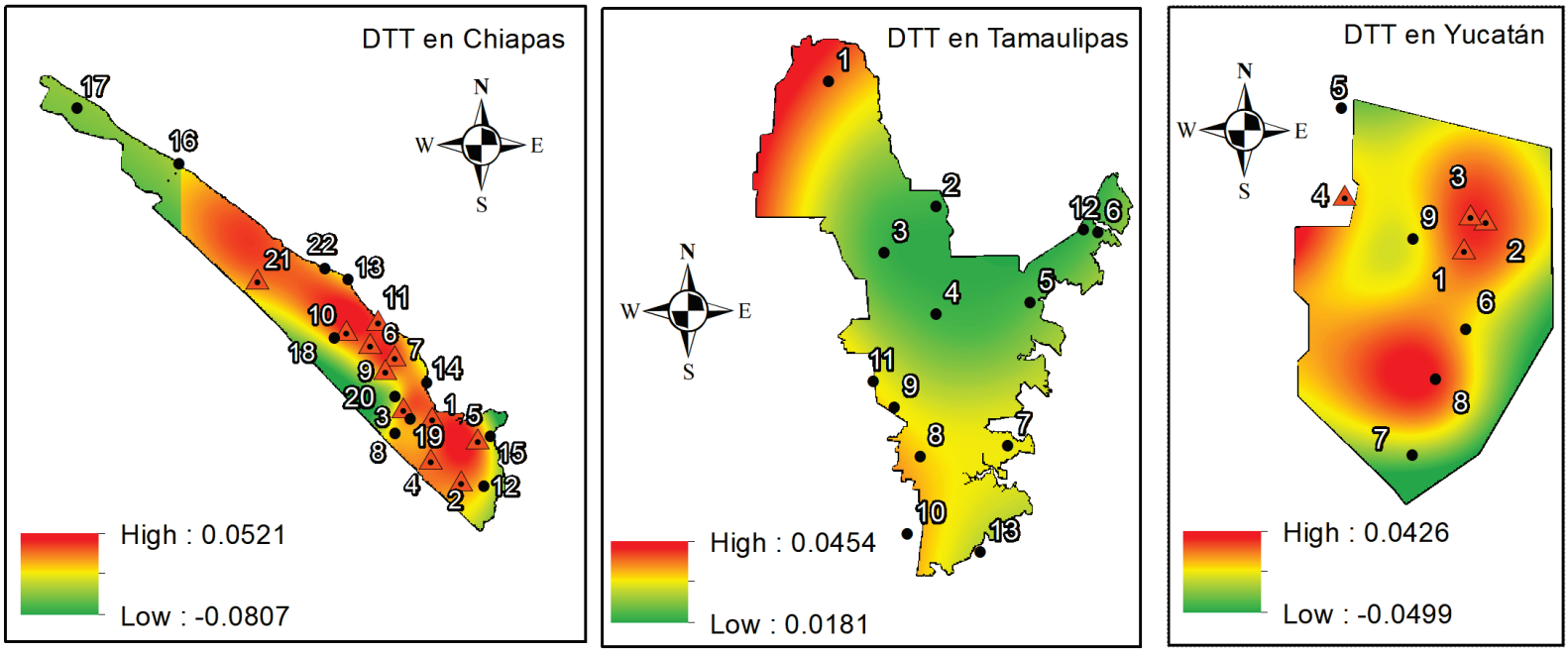

Figura 13. Tendencias en temperatura máxima media mensual de julio.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

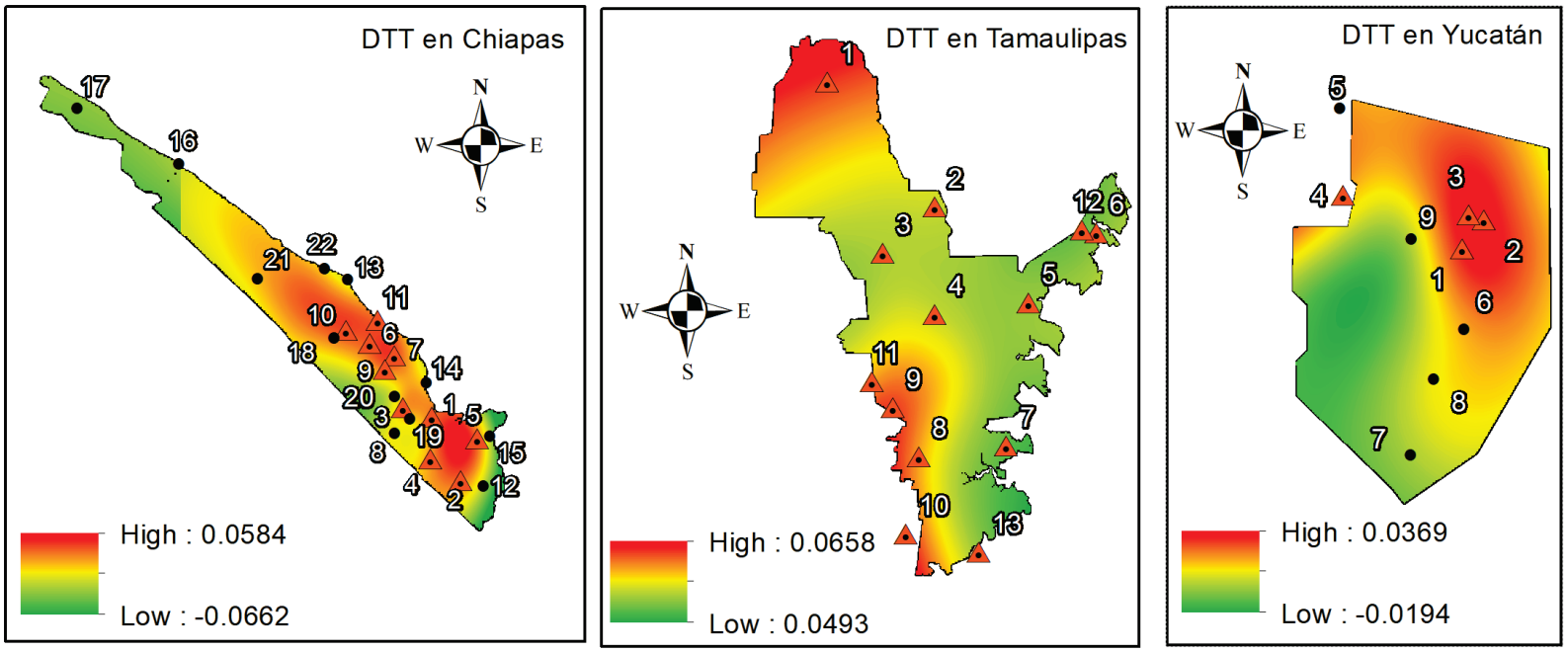

Figura 14. Tendencias en temperatura máxima media mensual de agosto.

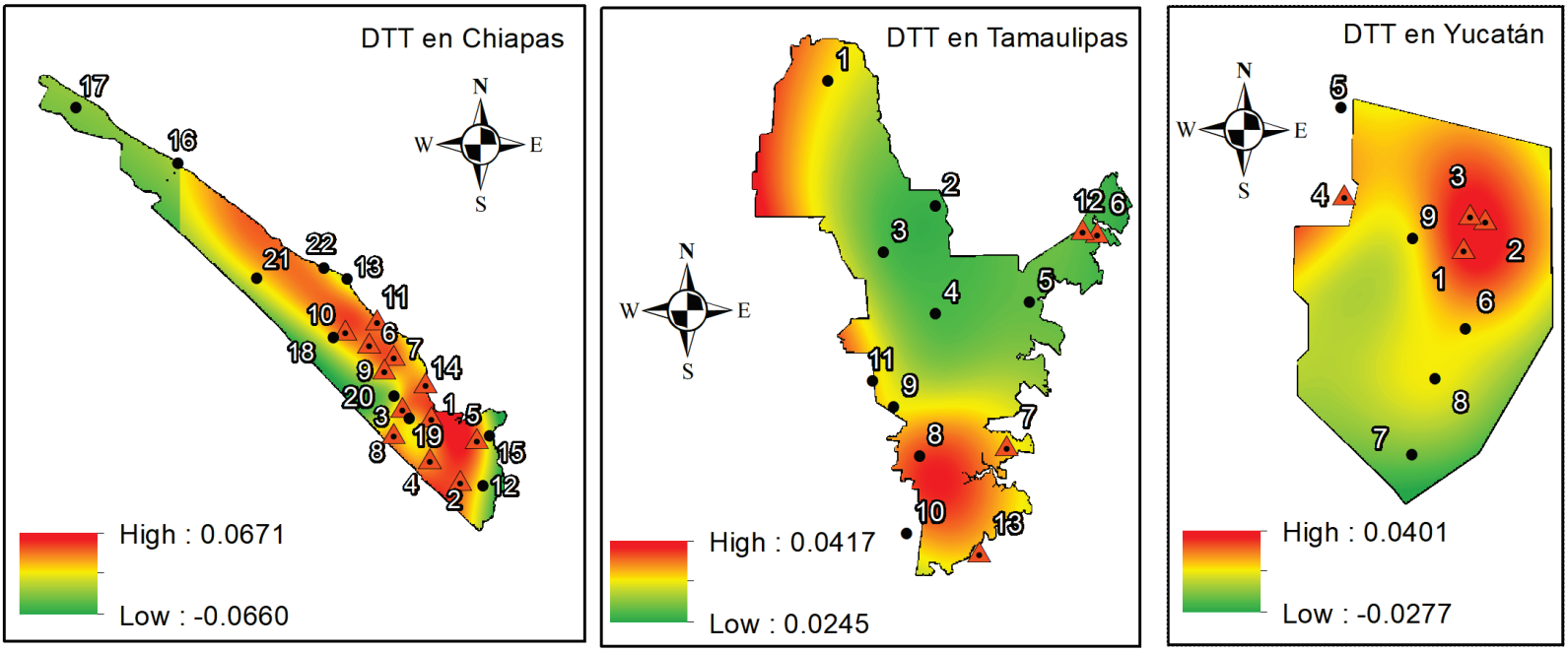

Figura 15. Tendencias temperatura máxima media mensual de septiembre.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

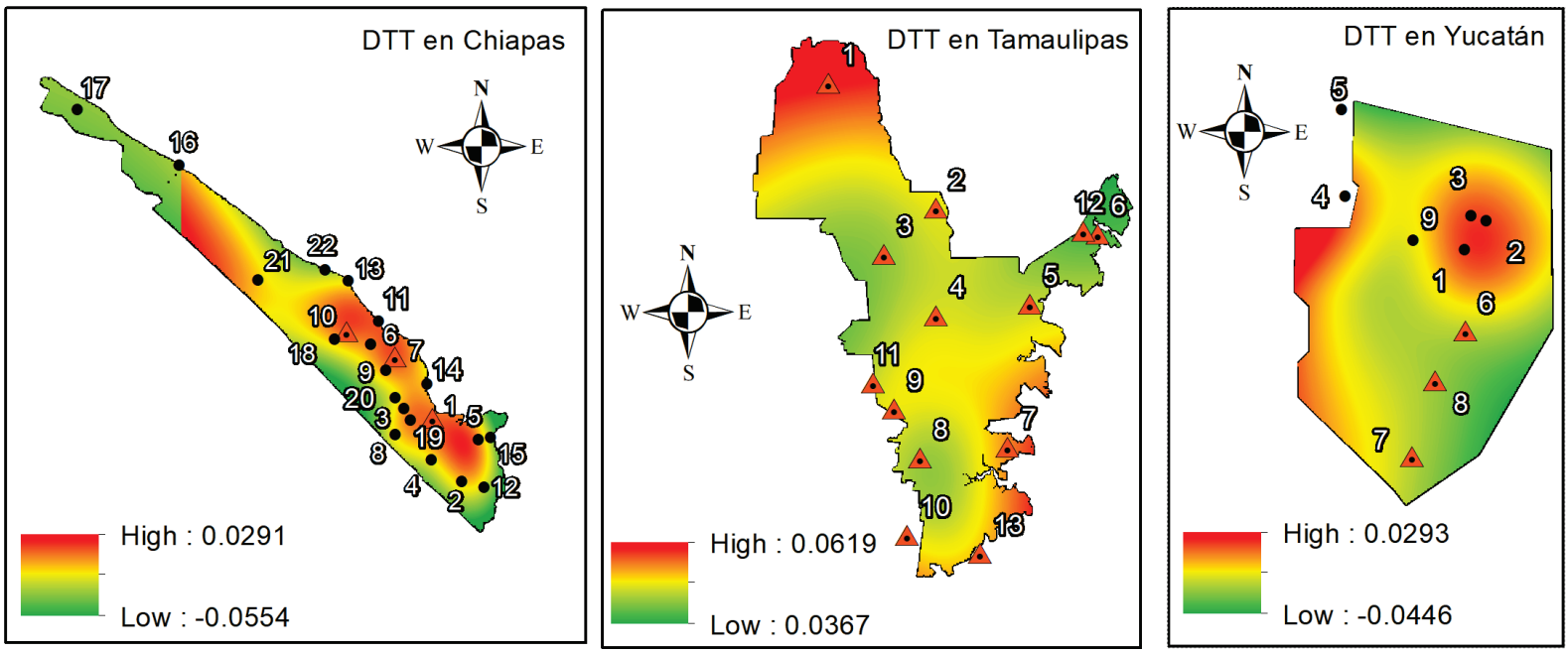

Figura 16. Tendencias en temperatura máxima media mensual de octubre.

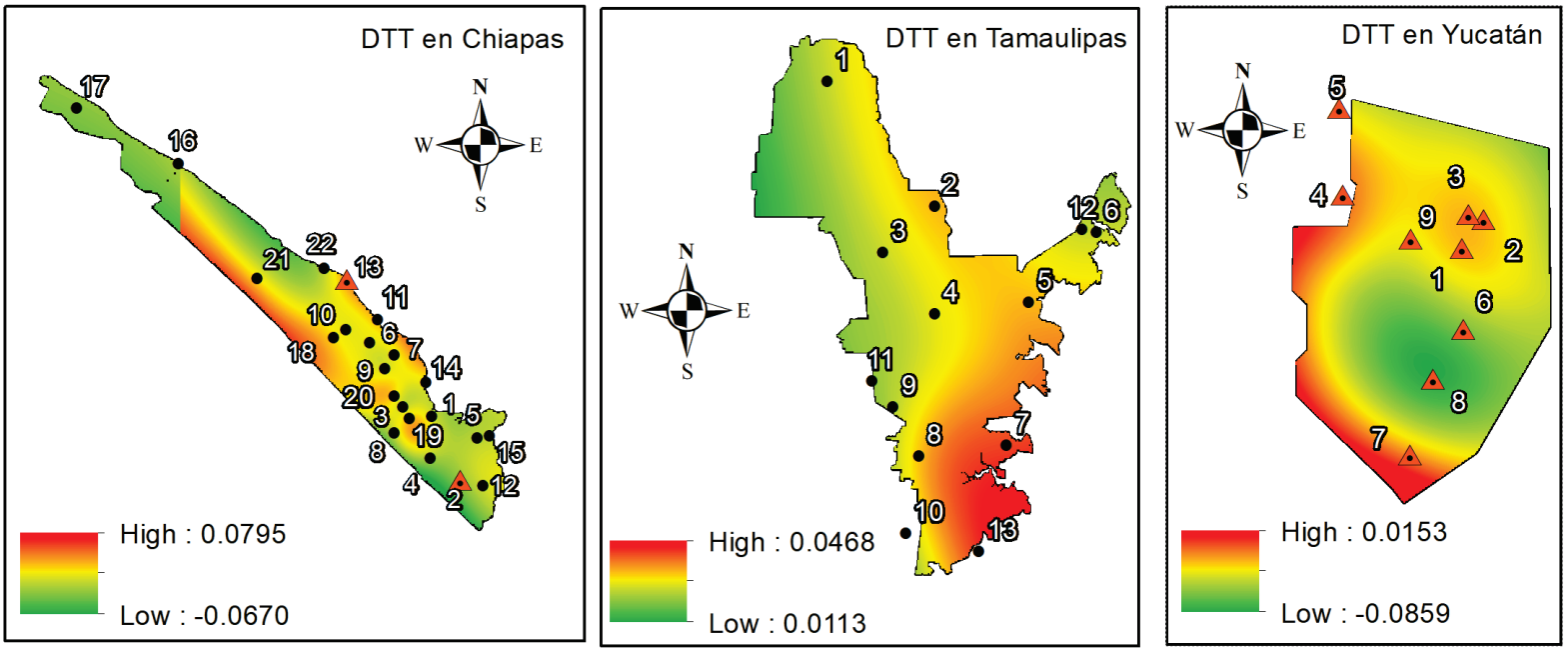

Figura 17. Tendencias, temperatura máxima media mensual de noviembre.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

En general, predomina la estabilidad en la mayoría de las estaciones (*p-value* > 0.05). En los DTT de Chiapas, las tendencias significativas se concentran entre junio y septiembre, con un pico en julio, cuando 12 estaciones presentan incrementos (pendientes de hasta 0.05). En octubre se observa una disminución en la variabilidad de los cambios, aunque destacan pendientes positivas en estaciones como Teziutlán (10) y Rancho San José (6). Este comportamiento resulta particular, ya que contrasta con la fase habitual del ciclo anual de precipitación, donde octubre suele marcar la transición hacia una reducción progresiva de las lluvias.

En el DTT 08 San Fernando, Tamaulipas, mayo, junio y agosto concentran la mayoría de incrementos; destaca mayo con pendientes elevadas, como en Rancho Rospman (13) (0.06). Julio y septiembre reflejan menor actividad; mientras que octubre muestra nuevas tendencias al alza, como en Galeana (1), posiblemente por variaciones climáticas regionales.

En Yucatán, julio a septiembre presentan aumentos en estaciones como el Sitio Experimental Tizimín (2) y Rancho Alegre (3) (pendientes de Sen > 0.04 en septiembre). En contraste, noviembre muestra las mayores disminuciones, como en Chan Cenote (6) y Kuxeb (8) (pendientes de hasta -0.08), lo que sugiere posibles impactos climáticos negativos.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

Pruebas de tendencia de Mann-Kendall y pendientes de Sen aplicadas a la temperatura mínima media mensual

Revisar la Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23, Figura 24, Figura 25.

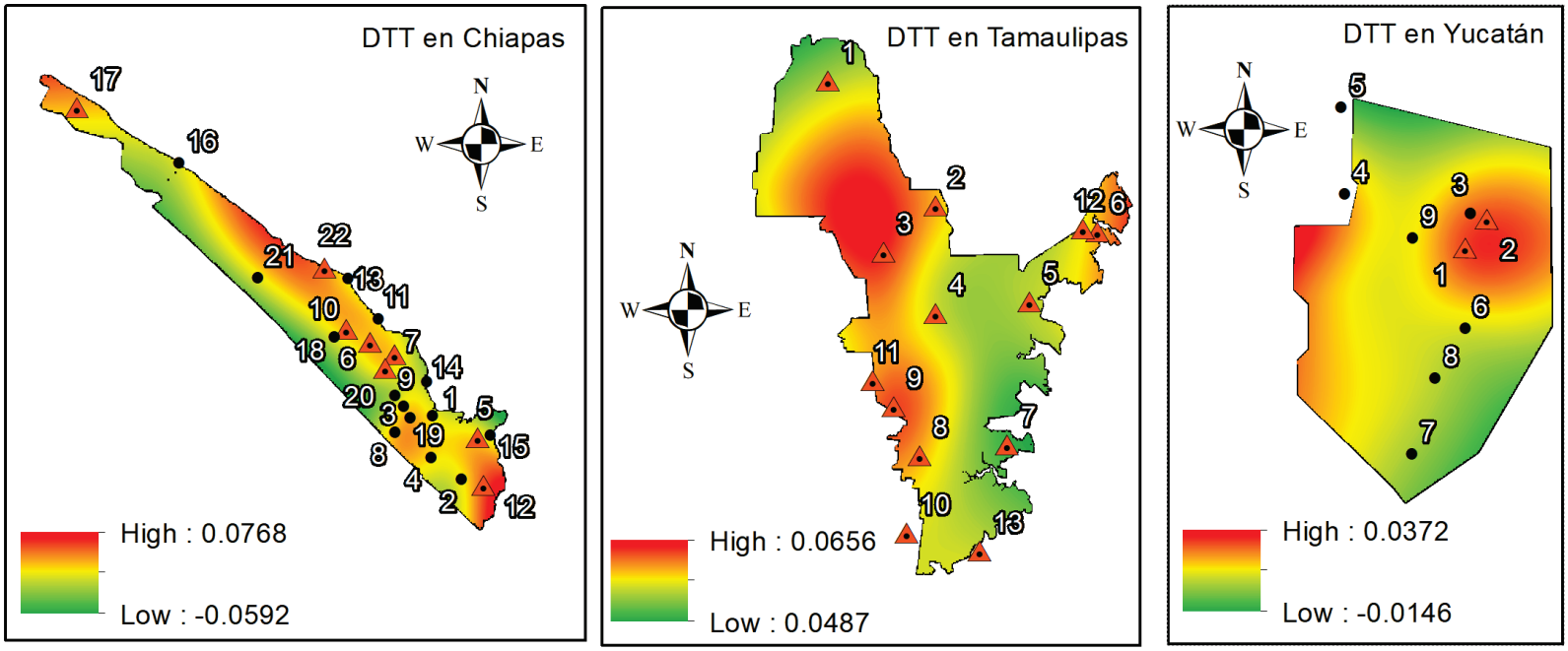

Figura 18. Tendencias en temperatura mínima media mensual de abril.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

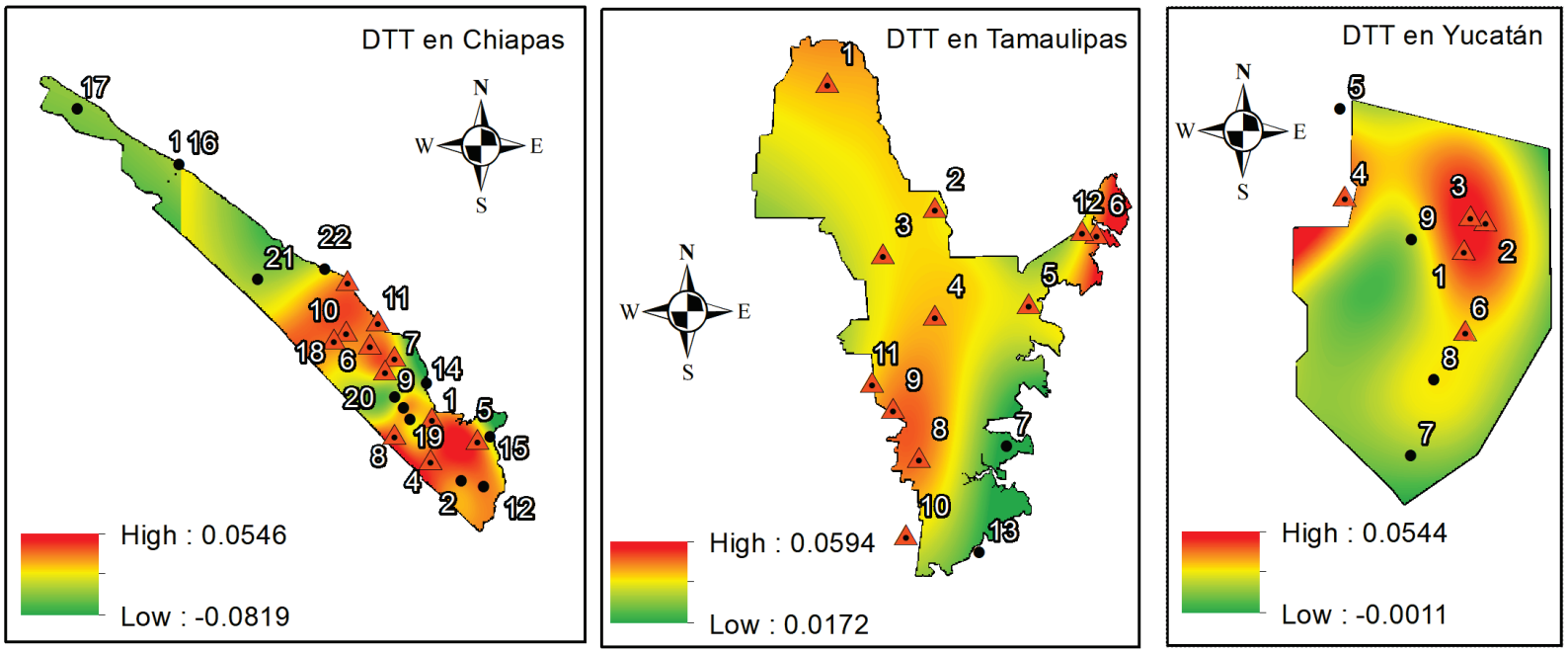

Figura 19. Tendencias en temperatura mínima media mensual de mayo.

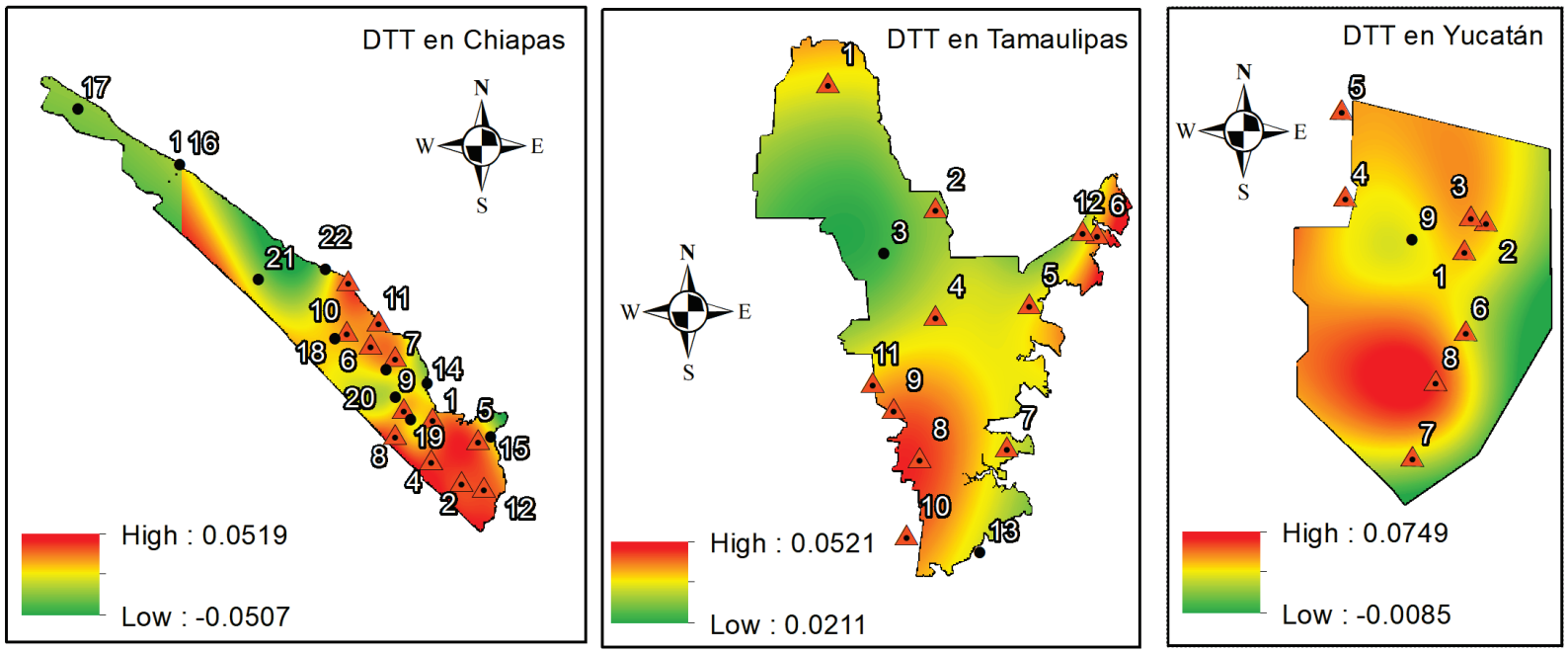

Figura 20. Tendencias en temperatura mínima media mensual de junio.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

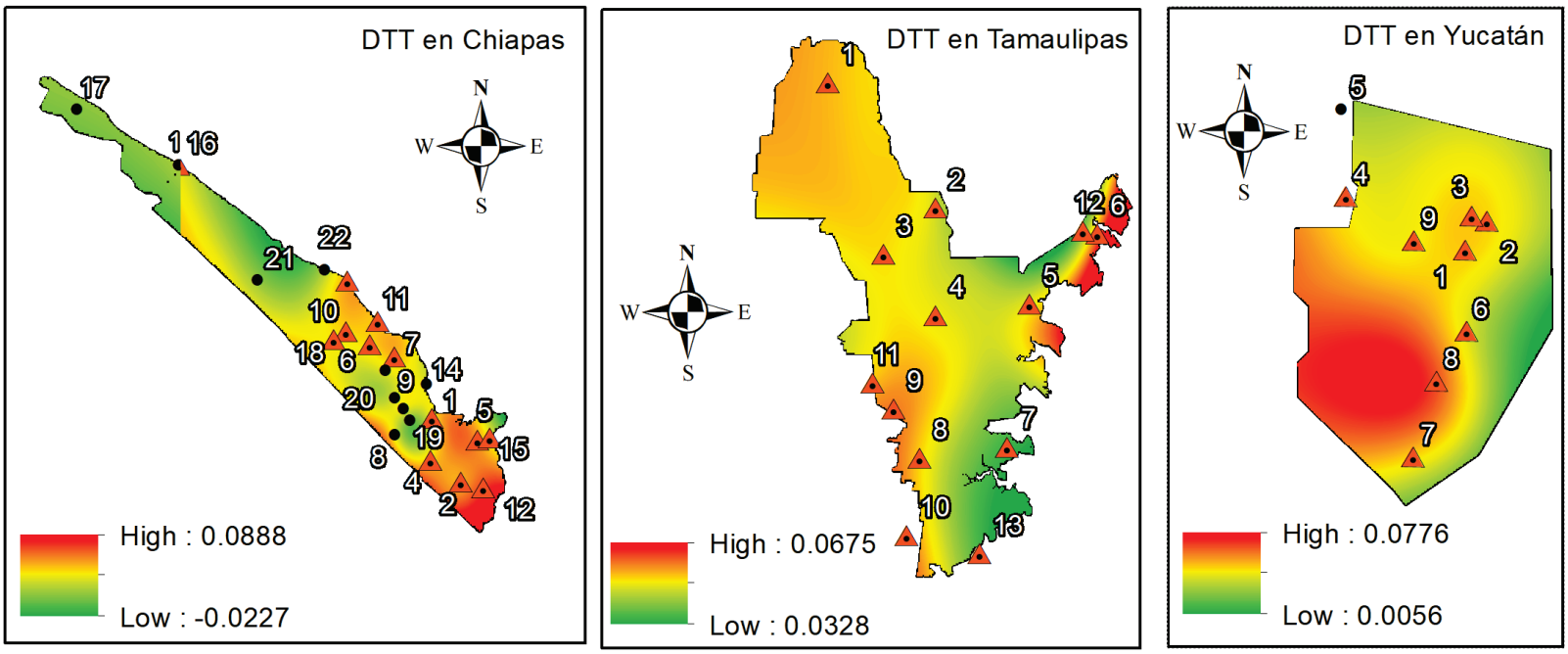

Figura 21. Tendencias en temperatura mínima media mensual de julio.

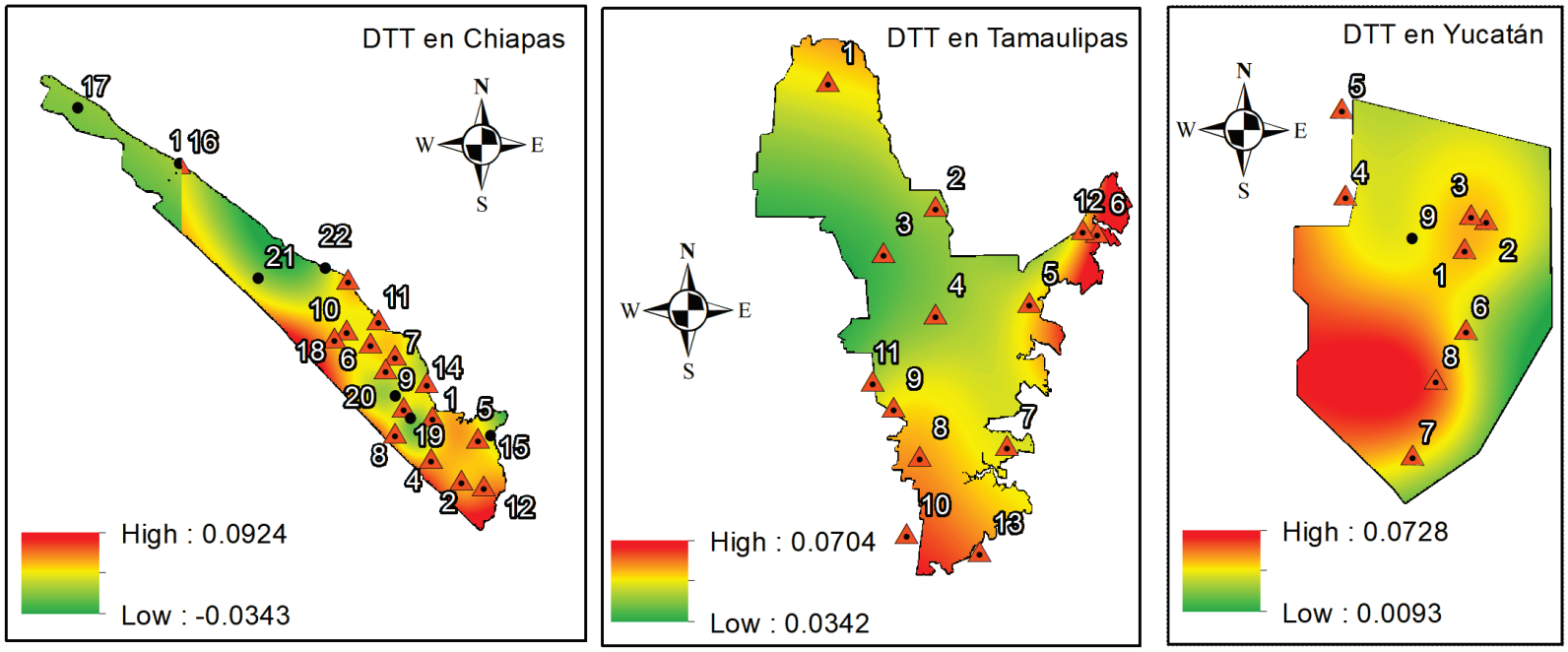

Figura 22. Tendencias en temperatura mínima media mensual de agosto.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

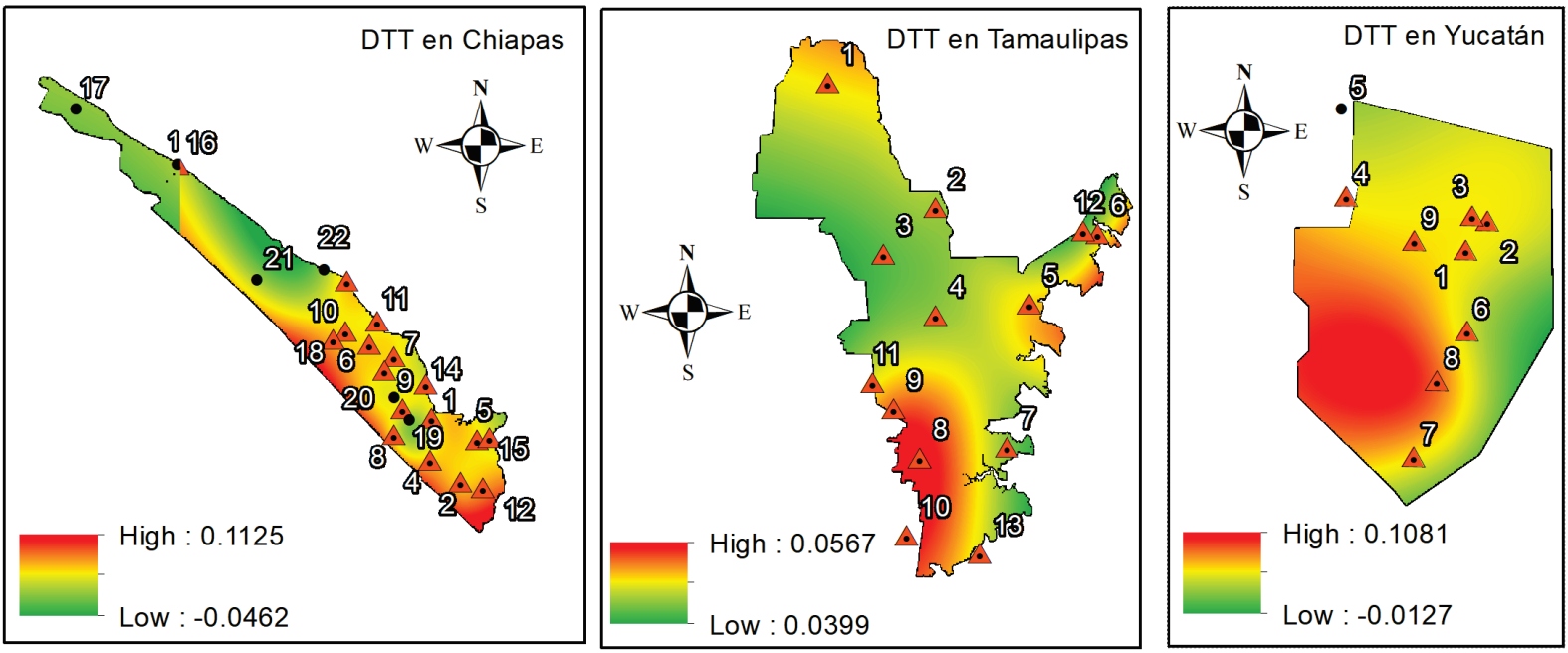

Figura 23. Tendencias temperatura mínima media mensual de septiembre.

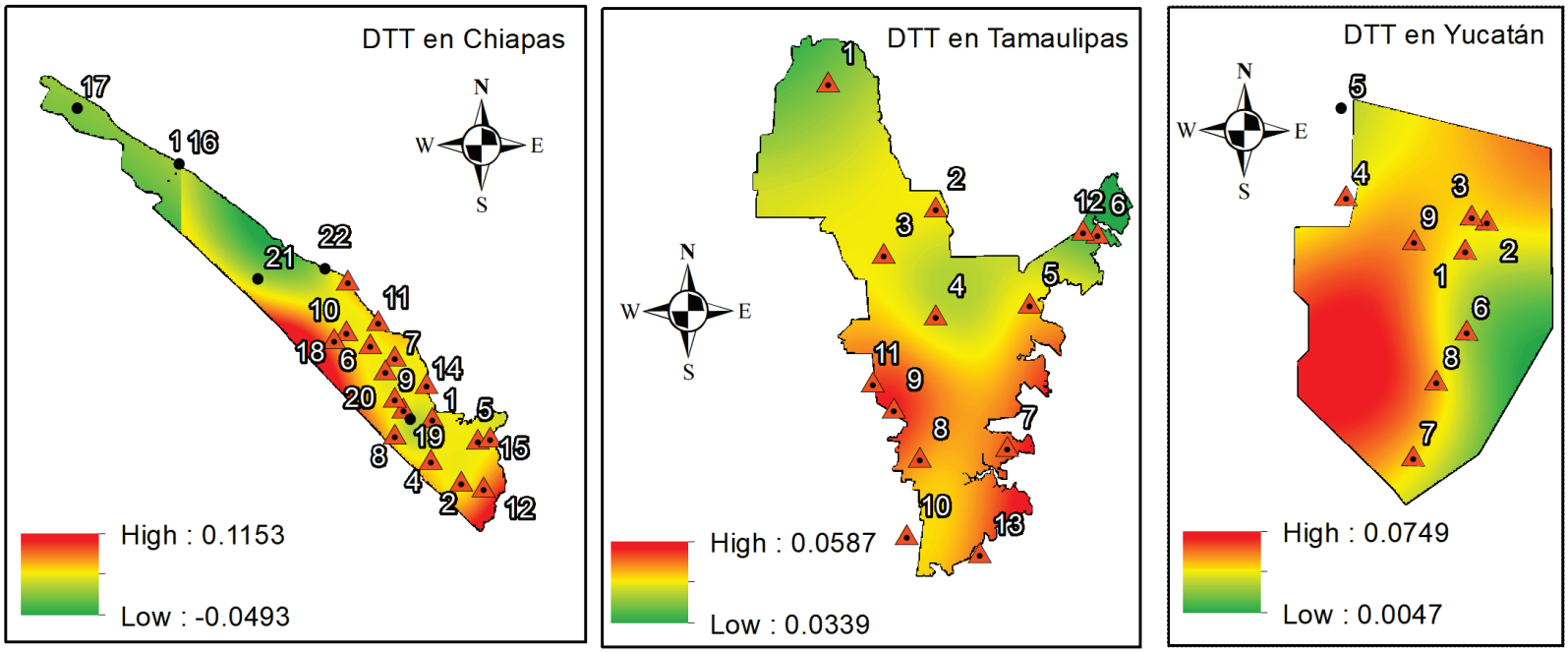

Figura 24. Tendencias en temperatura mínima media mensual de octubre.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

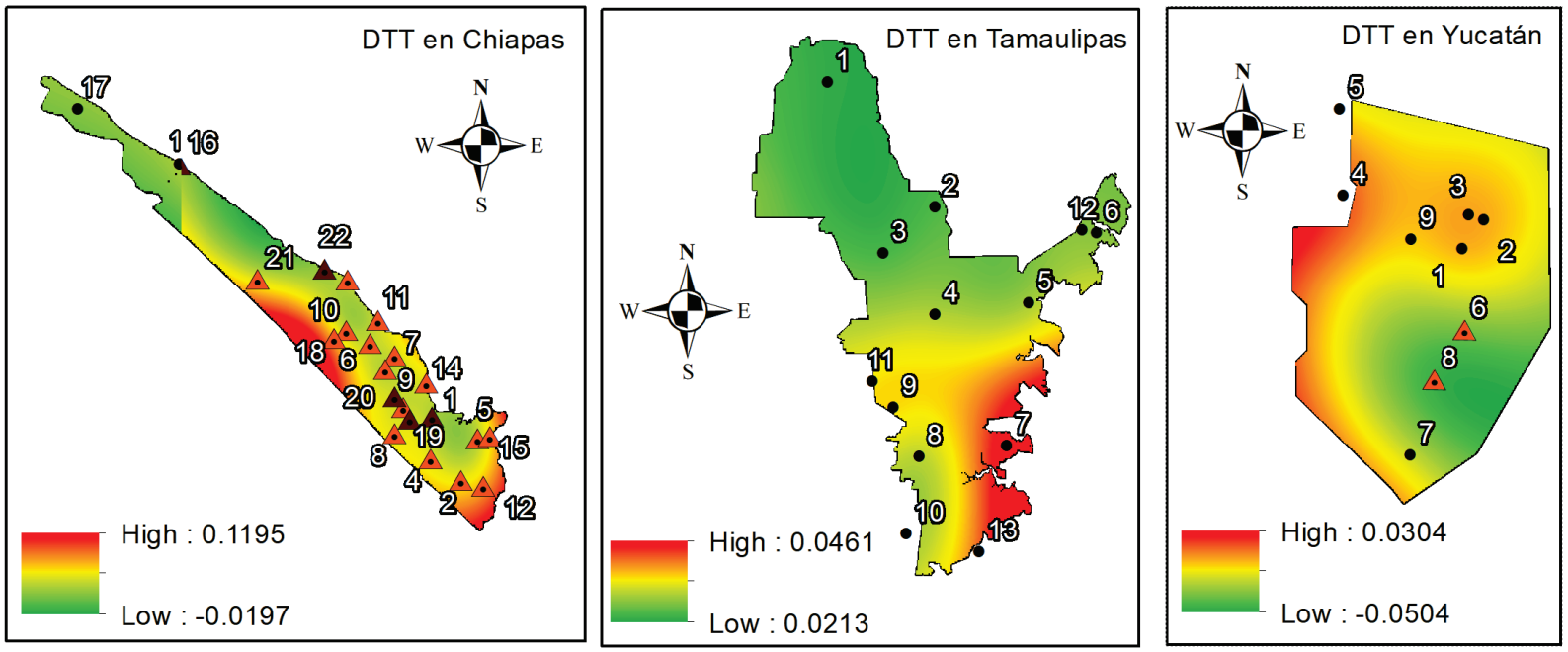

Figura 25. Tendencias temperatura mínima media mensual de noviembre.

El análisis de las tendencias de la temperatura mínima media mensual mediante la prueba de Mann-Kendall y la pendiente de Sen revela patrones significativos de cambio climático en diversas estaciones meteorológicas de las tres regiones estudiadas. Los resultados obtenidos reflejan una tendencia general hacia el aumento de las temperaturas mínimas, con algunas excepciones y variabilidad local importante.

En general, las estaciones en los DTT ubicados en Chiapas muestran una tendencia al alza de las temperaturas mínimas durante los meses de abril a septiembre, con un número destacado de estaciones, como UMOA 2 Sección (5), Rancho San José (6) e Ingenio Huixtla (7), que presentan tendencias significativas en múltiples meses. Estas estaciones presentan pendientes elevadas, lo que indica un aumento sostenido de la

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

temperatura mínima. En contraste, algunas estaciones, como Huehuetán (14), muestran tendencias negativas en ciertos meses, aunque no son estadísticamente significativas. La mayor frecuencia de tendencias significativas se presenta en los meses de agosto y septiembre, durante la temporada de lluvias.

En el DTT 10 San Fernando, Tamaulipas, los resultados indican un claro aumento de las temperaturas mínimas durante los meses de abril a septiembre, especialmente de abril a octubre. En estos meses, la mayoría de las estaciones muestran tendencias significativas y pendientes positivas, como las estaciones 5 de Mayo (6) y San Fernando (10), que destacan por sus incrementos más pronunciados. Sin embargo, en noviembre las tendencias dejan de ser significativas, lo que sugiere que las temperaturas mínimas se estabilizan durante la transición hacia la temporada más fría.

En el DTT 08 Yucatán, varias estaciones, como Los Laureles (1), Sitio Experimental Tizimín (2) y Rancho Alegre (3) presentan tendencias significativas de aumento en la temperatura mínima desde abril hasta octubre, lo que refleja una tendencia de calentamiento consistente. La pendiente de Sen también muestra un aumento gradual a lo largo de los meses, con valores significativos en agosto y septiembre. No obstante, en algunos casos, como en Rancho Alegre (3) y Santa Martha (4), las fluctuaciones de temperatura no alcanzan la significancia estadística, lo que podría indicar que los cambios en estas áreas no son lo suficientemente pronunciados o están influenciados por otros factores locales. Además, algunas estaciones en noviembre, como Chan Cenote (6) y Kuxeb (8), muestran pendientes negativas.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Discusión

Dado que en Chiapas, Tamaulipas y Yucatán se identificó una limitada disponibilidad de estudios previos sobre análisis de tendencias de los DTT a escala mensual, fue necesario proceder con un ajuste de los valores a nivel anual. Esta decisión metodológica permitió garantizar la coherencia en la interpretación de los resultados y, al mismo tiempo, posibilitó la comparación adecuada de las tendencias observadas en las tres entidades.

En términos generales, los resultados indican que la mayoría de las estaciones no presenta cambios estadísticamente significativos en la precipitación acumulada mensual ni en las temperaturas medias máximas y mínimas (*p-value* > 0.05), lo que evidencia una moderada estabilidad climática en las series analizadas. No obstante, se identificaron tendencias significativas en ciertas estaciones, que se evaluaron mediante la comparación con estudios previos; esto permitió validar la consistencia y relevancia de los hallazgos en un contexto regional más amplio, tal como se detalla a continuación.

En los DTT de Chiapas se identificaron principalmente tendencias significativas de precipitación acumulada mensual durante el mes de junio, destacando las estaciones Rancho San José (6) e Ingenio Huixtla (7), que registraron incrementos en la pendiente de Sen de hasta 2.50 mm/año. De manera consistente, Méndez-González *et al*. (2008) reportaron incrementos de precipitación entre 0.5 y 1.4 mm/año para el junio en el periodo 1920-2004, lo que coincide con los patrones climáticos observados en Chiapas y refuerza la evidencia de un aumento sostenido en la precipitación durante este mes.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

En el DTT 010 San Fernando, Tamaulipas, se observó ausencia de tendencias en abril (pendientes de Sen de 0), mientras que en junio y septiembre se registraron incrementos de hasta 4.1 mm/año, particularmente en las estaciones Galeana (1) y El Avión (2). Estos resultados son consistentes con lo reportado por Cavazos y Hastenrath (1990) para el periodo 1940-1985, quienes documentaron aumentos en la precipitación de 0.5 a 2 mm/año de junio a septiembre en el noreste de México.

En Yucatán, agosto mostró aumentos significativos en Kuxeb (8), con pendiente de Sen de 2.4 mm/año; y septiembre y octubre en Chemax (7) y Rancho Alegre (3), con pendientes de hasta 4.0 mm/año. Pavia *et al*. (2006) reportaron aumentos de hasta 3 mm/año en la península de Yucatán en agosto durante el periodo 1960-2000, lo que concuerda con el presente estudio. El aumento observado puede interpretarse como una señal de intensificación de la precipitación estacional, lo cual tendría implicaciones potenciales en la recarga de acuíferos y en la disponibilidad hídrica de la región.

En el análisis de la temperatura mínima media mensual se observó un aumento generalizado. En Chiapas, estaciones como Rancho San José (6) e Ingenio Huixtla (7) registraron incrementos sostenidos con pendientes de Sen de 0.04 a 0.05 °C/año entre abril y noviembre, lo que coincide con lo reportado por Estrada *et al*. (2023), quienes documentaron para el periodo 1980-2020 incrementos de 0.03 a 0.06 °C/año en zonas agrícolas de Chiapas durante los mismos meses.

En Tamaulipas, las estaciones 5 de Mayo (6) y San Fernando (10) presentaron incrementos significativos de temperatura mínima (pendiente de Sen de 0.04 a 0.06 °C/año) y máxima (pendiente de Sen

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

de 0.02 a 0.04 °C/año) entre abril y octubre, reflejando patrones similares a Hulme *et al*. (1998), quienes reportaron aumentos de 0.1 a 0.7 °C/año de abril a octubre en el norte de México en el periodo 1901-1995.

Conclusiones

El análisis de tendencias en precipitación y temperatura mediante Mann-Kendall y la pendiente de Sen mostró patrones diversos en tres regiones de México, relevantes para una gestión agrícola y ambiental adaptada al cambio climático.

En los DTT ubicados en Chiapas se identificaron tendencias significativas en la precipitación acumulada, con disminuciones notables en mayo y aumentos importantes en octubre. Respecto a las temperaturas máximas y mínimas, se observó un patrón consistente de aumento, especialmente durante los meses de transición hacia la temporada de lluvias, lo que sugiere una posible influencia del cambio climático en estas variaciones.

En el DTT 10 San Fernando, Tamaulipas, las tendencias en la precipitación fueron más evidentes durante los meses de junio a agosto, con incrementos significativos en junio y septiembre. En cuanto a la temperatura máxima y mínima, de abril a septiembre mostró aumentos constantes, con las estaciones de mayor pendiente localizadas en áreas específicas que parecen ser más vulnerables a fenómenos climáticos regionales. Sin embargo, en noviembre tanto las precipitaciones como las temperaturas máximas y mínimas reflejaron una mayor estabilidad, posiblemente por la transición hacia los meses más fríos.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

En el DTT 08 Oriente de Yucatán se observaron incrementos significativos de abril a octubre en la precipitación acumulada, especialmente en agosto y octubre; esto sugiere que la precipitación acumulada durante la temporada de lluvias presenta variaciones significativas, las cuales se deben a cambios en la duración y frecuencia de los eventos lluviosos. Esta tendencia sugiere posibles alteraciones en los ciclos agrícolas, con impactos en la disponibilidad de agua para los cultivos de estudio y su planificación. En cuanto a las temperaturas mínimas, se identificó una tendencia general de aumento desde abril hasta octubre en varias estaciones, como Los Laureles (1), Sitio Experimental Tizimín (2) y Rancho Alegre (3). Sin embargo, en noviembre se observaron algunas disminuciones en las temperaturas mínimas, lo que podría estar relacionado con el cambio estacional a la temporada fría.

En conjunto, estos resultados subrayan la importancia de un seguimiento constante y detallado de las tendencias climáticas en estas regiones para poder anticipar los efectos del cambio climático y adaptar las prácticas agrícolas, la gestión de los recursos hídricos y la planificación ambiental. Las diferencias observadas entre las estaciones y las regiones resaltan la complejidad de los sistemas climáticos locales, que requiere un enfoque integral para comprender los factores que están modelando el clima en el país.

Financiamiento

Los autores declaran que la investigación y la elaboración del artículo no recibieron financiamiento específico de organismos públicos, privados o sin fines de lucro.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(5), 362-403. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-08

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés relacionado con la investigación, autoría y publicación del presente artículo.

Declaración de uso de inteligencia artificial (IA)

Los autores declaran que no utilizaron herramientas de inteligencia artificial para la elaboración del manuscrito.

Referencias

Cavazos, T., & Hastenrath, S. (1990). Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation. International *Journal of Climatology*, *10*(4), 377-386. https://doi.org/10.1002/joc.3370100405

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2024). *Información estadística climatológica*. Servicio Meteorológico Nacional. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica

Cruz-Hernández, S. (2021). Impacto de la variabilidad climática en la agricultura de temporal en el estado de Tlaxcala, México. *Revista ASyD*, *17*(4), 1-19. https://doi.org/10.22231/asyd.v17i4.1401

Estrada, F., Calderón-Bustamante, Ó., Raga, G., Altamirano-del-Carmen, M., Torres, V., & Zavala-Hidalgo, J. (2023). *Estado y perspectivas del cambio climático en México: un punto de partid*a. Universidad Nacional Autónoma de México. https://cambioclimatico.unam.mx/wp-content/uploads/2023/11/estado-y-perspectivas-del-cambio-climatico-en-mexico-un-punto-de-partida-unam.pdf

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2024: financiación para acabar con el hambre, la inseguridad alimentaria y la malnutrición en todas sus formas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://doi.org/10.4060/cd1254es

Guijarro, J. A. (2024). *Climatol. Software para el tratamiento y control de calidad de datos climatológicos* (versión 4.4-0). https://www.climatol.eu/

Helsel, D. R., & Hirsch, R. M. (2002). *Statistical methods in water resources*. U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/twri04A3

Hirsch, R. M., Slack, J. R., & Smith, R. A. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, *18*(1), 107-121. https://doi.org/10.1029/WR018i001p00107

Hulme, M., Doherty, R., Ngara, T., New, M., & Lister, D. (1998). Global warming and changes in drought and rainfall patterns in the twentieth century. *Climatic Change*, *39*(2), 199-210. https://doi.org/10.1023/A:1005301521461

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Atlas de los distritos de temporal tecnificado de México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2024). *Sistema de base de datos meteorológicos ESSENGER*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. https://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/DatosIndirectos/NEssenger

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate change 2021: *The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report*. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report*. Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/

Méndez-González, J., Návar-Cháidez, J. de J., & González-Ontiveros, V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas*, (65), 38-55. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112008000100004

Mendoza-Ponce, A., Haro, A., Murray-Tortarolo, G., & Salazar-Frausto, J. L. (2023). Agricultura y cambio climático en México. En: *El cambio climático en México* (pp. 1-20). Universidad Nacional Autónoma de México. https://cambioclimatico.unam.mx/wp-content/uploads/2023/10/cambio-climatico-en-mexico-impactos-agricultura.pdf

OMM, Organización Meteorológica Mundial. (2013). *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. World Meteorological Organization. https://wmo.int/es

Pavia, E. G., Graef, F., & Reyes, J. (2006). PDO–ENSO effects in the climate of Mexico. *Journal of Climate*, *19*(24), 6433-6438. https://doi.org/10.1175/JCLI4045.1

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, *63*(324), 1379-1389. https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934

Sheng, Y., & Paul, P. (2004). A comparison of the power of the t-test, Mann–Kendall and bootstrap tests for trend detection. *Hydrological Sciences Journal*, *49*(1), 21-37. https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.21.53996

SHC, Secretaría de Hacienda del Estado de Chiapas. (2012). *Programa regional de desarrollo*. Secretaría de Hacienda del Estado de Chiapas. https://www.haciendachiapas.gob.mx/planeacion/prog-regionales.asp

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)